



TUGAS AKHIR - RE 141581

PENGERINGAN LUMPUR IPAL BIOLOGIS PADA UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

MARITA FAIZATUL UMMAH
0321144000022

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

PENGERINGAN LUMPUR IPAL BIOLOGIS PADA UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

MARITA FAIZATUL UMMAH
03211440000022

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

WWTP SLUDGE DRYING PROCESS IN SLUDGE DRYING BED (SDB)

MARITA FAIZATUL UMMAH
03211440000022

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGERINGAN LUMPUR IPAL BIOLOGIS PADA UNIT SLUDGE DRYING BED (SDB)

TUGAS AKHIR

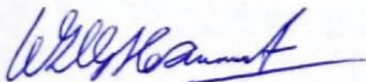
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memenuhi Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MARITA FAIZATUL UMMAH

NRP. 03211440000022

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Welly Herumurti, S.T., M.Sc
NIP. 19811223-200604 1 001



PENGERINGAN LUMPUR IPAL BIOLOGIS PADA UNIT SLUDGE DRYING BED (SDB)

Nama Mahasiswa : Marita Faizatul Ummah
NRP : 03211440000022
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Welly Herumurti, ST., M.Sc

ABSTRAK

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan bangunan pengolahan air limbah yang menghasilkan lumpur yang mengandung air, residu organik, dan logam anorganik yang dapat mencemari lingkungan. *Sludge Drying Bed* (SDB) merupakan bangunan pengolahan lumpur dengan sistem pengeringan. Prinsip pengolahan lumpur pada SDB yaitu mengurangi kadar air dan volume lumpur. Pengeringan mampu mengurangi volume lumpur dengan meningkatkan kadar TS dan pengurangan pada komponen *organic volatile* sebesar 51-65%. Operasi unit SDB terdiri atas periode pengisian lumpur (dari 1 sampai 10 hari) diikuti dengan periode pengeringan (dari 4 hari sampai 3 bulan) yang kemudian dilakukan pengurasan. Susunan media filter yang ada pada unit SDB yaitu pada bagian bawah terdapat saluran underdrain sebagai tempat keluarnya filtrat, kemudian di atasnya terdapat lapisan kerikil dengan ketinggian 20-30 cm, di lapisan tengah terdapat media pasir dengan ketinggian 20-30 cm, dan lapisan paling atas terdapat lumpur yang akan dikeringkan. Tujuan dari penelitian adalah untuk menentukan ukuran media pasir, ketebalan lumpur, dan waktu yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur dengan hasil analisis filtrat yang paling mendekati baku mutu efluen air limbah.

Pada penelitian ini digunakan sampel lumpur dari proses pengolahan biologis pada IPLT Keputih Surabaya. Sampel lumpur

tersebut dimasukkan ke dalam reaktor dengan susunan media yang sama dengan SDB sebanyak ± 30 L. Sebelumnya dilakukan penelitian pendahuluan terlebih dahulu untuk mengetahui waktu pengendapan lumpur yang efektif. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ukuran media pasir (0,15-0,425; 0,425-0,85; 0,85-1,18 mm) dengan jenis pasir yang digunakan yaitu pasir gunung (pasir Lumajang) dan variasi ketebalan lumpur (20, 30, dan 40 cm). Penelitian ini menggunakan 9 reaktor dengan penutup pada bagian atas. Penelitian dilakukan selama 30 hari dengan dilakukan analisis BOD₅, ammonia, dan total Coliform pada awal dan akhir penelitian. Analisis COD setiap 3 hari sekali, serta analisis suhu lumpur, suhu lingkungan dan intensitas cahaya yang dilakukan sebanyak 1 kali dalam sehari.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ukuran media pasir dan ketebalan lumpur yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur IPAL biologis adalah 0,15-0,425 mm dengan ketebalan lumpur 20 cm. Persentase penyisihan lumpur yang menjadi filtrat pada unit SDB adalah COD 99,88%, TS 98,37% dan TSS 98,27%, BOD 97,3%, Amonium 96,47% , dan Total Coliform 94,5%.

Kata Kunci : Ukuran Media, Ketebalan Lumpur, SDB

WWTP SLUDGE DRYING PROCESS IN SLUDGE DRYING BED (SDB)

Student Name : Marita Faizatul Ummah
ID Number : 03211440000022
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Welly Herumurti, ST., M.Sc

ABSTRACT

Waste Water Treatment Plant (WWTP) is a waste water treatment unit that produces sludge containing water, organic residue, and inorganic metals that can pollute the environment. Sludge Drying Bed (SDB) is a sludge treatment unit with a drying system. The principle of sludge treatment in SDB is reducing water content and sludge volume. Drying can reduce the volume of by increasing TS content and reducing volatile organic component by 51-65%. The operation of the SDB unit consists of sludge filling period (1 – 10 days) followed by drying period (4 days – 3 months) and then draining period. Filter media composition in SDB unit consists of underdrain channel for filtrate to pass through in the lower part, then 20 – 30 cm of gravel layer, 20-30 cm of sand media in the middle part, and drying sludge in the uppermost part. The purpose of the study is to determine the most effective size of sand media, sludge thickness, and time in sludge drying process with filtrate analysis result that is closest to the effluent quality standard of waste water.

In this research used sludge sample from the biological treatment on IPLT Keputih Surabaya. The sludge samples were fed into the reactor with the same media arrangement as SDB of ± 30 L. Previously, preliminary research was done to determine the effective sludge settling time. The variation used in this research is the size of media (0,15-0,425 ; 0,425-0,85; 0,15-0,85 mm) with the type of and used is mountain sand (Lumajang sand) and sludge

thickness (20, 30, dan 40 cm). This research used 9 reactors with lid on top. This research was for 30 days with analysis of BOD₅, ammonium, and total Coliform at the beginning and end of the research. Analysis COD once every 3 days, and then sludge temperature, ambient temperature, and light intensity analysis in a day.

The result of this research indicate that the most effective size of sand media and sludge thickness in the biological sludge drying process is 0.15-<0.425 mm with 20 cm sludge thickness. The percentage of removal of sludge into filtrate on the SDB unit is COD 99,88%, TS 98,37% dan TSS 98,27%, BOD 97,3%, Amonium 96,47% , dan Total Coliform 94,5%.

Keyword : Media Size, Sludge Thickness, SDB

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengeringan Lumpur IPAL Biologis pada Unit *Sludge Drying Bed* (SDB)”.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App, Sc, Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., Mphil, PhD, Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM selaku dosen pengarah tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Pengelola dan semua petugas di IPLT Keputih yang sudah memberikan izin serta membantu saat mengambil sampel lumpur.
4. Bapak Hadi Sutrisno, Bapak Edi, Bapak Azhari, Ibu lin, dan Ibu Mery selaku Laboran Departemen Teknik Lingkungan yang telah membantu dan memfasilitasi ketika di Laboratorium.
5. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lumpur IPAL Biologis	5
2.1.1 Pengertian Lumpur IPAL Biologis	5
2.1.2 Sumber Lumpur IPAL Biologis	5
2.1.3 Karakteristik Lumpur IPAL Biologis	6
2.2 Pengolahan Lumpur Biologis	8
2.2.1 Pengentalan Lumpur (<i>Thickening</i>)	10
2.2.2 Stabilisasi Lumpur dengan Sludge Digester	10
2.2.3 Pengeringan Lumpur (<i>Dewatering</i>)	11
2.2.4 <i>Disposal</i>	17
2.3 <i>Sludge Drying Bed</i> (SDB)	18
2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan SDB	19
2.3.2 Media pada SDB	20
2.3.3 Ketebalan Lumpur	24
2.4 Penelitian Terdahulu	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1 Kerangka Penelitian	27
3.2 Studi Literatur	28
3.3 Analisis Karakteristik Awal	30
3.4 Persiapan Alat dan Bahan	31

3.5	Pembuatan Reaktor	32
3.6	Pelaksanaan Penelitian	36
3.6.1	Sampling Awal	36
3.6.2	Pelaksanaan Penelitian Laboratorium	37
3.7	Metode Analisis Parameter	38
3.8	Pengolahan Data	41
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Analisis Awal Karakteristik Lumpur IPAL Biologis dan Media Filter	43
4.2	Penelitian Utama	45
4.2.1	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Volume Filtrat yang Dihasilkan	46
4.2.2	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Penurunan Ketebalan Lumpur	49
4.2.3	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Penurunan Kadar Air Lumpur	50
4.2.4	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi COD Filtrat	52
4.2.5	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi TS Filtrat	55
4.2.6	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi TSS Filtrat	58
4.2.7	Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi Amonium pada Filtrat	62
4.2.8	Hasil Analisis Total Coliform	63
4.2.9	Hasil Analisis BOD ₅ Filtrat	65
4.2.10	Hasil Analisis COD Lumpur	67
4.2.11	Hasil Analisis Amonium Lumpur	68
4.2.12	Massa Cake	69
4.2.13	Hasil Perubahan Suhu lumpur dan Ambien	71
4.2.14	Hasil Perubahan Intensitas Cahaya	72
4.2.15	Massa Evaporasi	73
4.2.16	Removal Filtrat	75
4.3	Pengaruh Perbedaan Ketebalan Lumpur terhadap penyisihan polutan pada unit SDB	80

4.4 Pengaruh Perbedaan Ukuran Media terhadap penyisihan polutan pada unit SDB.....	85
4.5 Hasil Uji ANOVA pada SPSS 22	92
4.6 Keseimbangan Massa COD dan TS	96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN 1 PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN PROSEDUR ANALISIS	109
A. Analisis Amonium	109
B. Analisis COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>).....	111
C. Analisis BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	113
D. Analisis TSS (<i>Total Suspended Solids</i>).....	116
E. Analisis TS (<i>Total Solids</i>)	117
F. Analisis Kadar Air	118
G. Analisis Total Coliform	118
LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI PENELITIAN.....	121
BIOGRAFI PENULIS	123

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan media filter unit SDB	20
Gambar 3.1 <i>Settleability Sludge Test</i>	30
Gambar 3.2 Rencana Bentuk Reaktor	33
Gambar 3.3 Kerangka Reaktor Tampak Samping	34
Gambar 3. 4 Denah Peletakan Reaktor	34
Gambar 3. 5 Tampak samping.....	35
Gambar 3.6 Lokasi Sampling Awal	36
Gambar 4. 1 Akumulasi Volume Filtrat yang Dihasilkan	46
Gambar 4.2 Debit Filtrat	48
Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran Ketebalan.....	49
Gambar 4. 4 Hasil Analisis Kadar Air	51
Gambar 4.5 Akumulasi Massa COD	54
Gambar 4. 6 Normalisasi Akumulasi Massa COD	55
Gambar 4.7 Akumulasi Massa TS.....	57
Gambar 4.8 Normalisasi Akumulasi Massa TS.....	58
Gambar 4. 9 Akumulasi Massa TSS	60
Gambar 4.10 Normalisasi Akumulasi Massa TSS	61
Gambar 4.11 Hasil Analisis Amonium.....	62
Gambar 4.12 Hasil Analisis COD Lumpur.....	67
Gambar 4. 13 Hasil Analisis Amonium Lumpur	68
Gambar 4.14 Massa <i>Cake</i>	70
Gambar 4. 15 Hasil Pengukuran Suhu Lumpur	71
Gambar 4. 16 Hasil Pengukuran Suhu Ambien	72
Gambar 4.17 Hasil Pengukuran Intensitas Cahaya	73
Gambar 4.18 Massa Evaporasi	74
Gambar 4. 19 Laju Evaporasi Setiap Harinya	75
Gambar 4.20 Persentase Removal COD Filtrat	76
Gambar 4.21 Persentase Removal TSS Filtrat	76
Gambar 4.22 Persentase Removal TS Filtrat	77
Gambar 4.23 Rasio COD/TSS	78
Gambar 4.24 Rasio BOD ₅ /COD	79
Gambar 4.25 Rasio TSS/TS.....	80
Gambar 4. 26 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap TS	81
Gambar 4. 27 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap TSS	82

Gambar 4. 28 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap COD	82
Gambar 4.29 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap BOD ₅	83
Gambar 4.30 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap Amonium	84
Gambar 4.31 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap Total Coliform.....	84
Gambar 4. 32 Pengaruh Ukuran Media terhadap TS.....	86
Gambar 4.33 Pengaruh Ukuran Media terhadap TSS	87
Gambar 4.34 Pengaruh Ukuran Media terhadap COD	88
Gambar 4.35 Pengaruh Ukuran Media terhadap BOD	89
Gambar 4.36 Pengaruh Ukuran Media terhadap Amonium	89
Gambar 4.37 Pengaruh Ukuran Media terhadap Total Coliform.	90
Gambar 4.38 Mass Balance COD	96
Gambar 4.39 Mass Balance TS	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Lumpur.....	6
Tabel 2.2 Hasil analisis karakteristik lumpur 7 hari	7
Tabel 2.3 Hasil analisis karakteristik lumpur 14 hari	7
Tabel 2.4 Hasil analisis karakteristik lumpur 14 hari	7
Tabel 2.5 Hasil Analisis Ayakan Pasir Lumajang	22
Tabel 3.1 Karakteristik Pasir Gunung (Pasir Lumajang)	30
Tabel 3.2 Hasil Analisis Ayakan Pasir Gunung (Pasir Lumajang)	31
Tabel 3.3 Variasi ukuran media dan ketebalan lumpur	37
Tabel 3.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik	38
Tabel 3.5 Tujuan Analisis Parameter	39
Tabel 4.1 Hasil Analisis Ayakan Pasir yang Digunakan.....	43
Tabel 4.2 Karakteristik Awal Lumpur IPAL Biologis	44
Tabel 4.3 Variasi masing-masing reaktor	45
Tabel 4.4 Persentase Volume Filtrat	47
Tabel 4.5 Hasil Akhir Analisis Kadar Air	51
Tabel 4.6 Hasil Analisis COD Filtrat	52
Tabel 4.7 Hasil Analisis TS Filtrat	56
Tabel 4. 8 Hasil Analisis TSS Filtrat	59
Tabel 4.9 Persentase Removal Amonium	63
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Total Coliform Filtrat	64
Tabel 4.11 Persentase Removal Total Coliform.....	65
Tabel 4.12 Hasil Pengukuran BOD ₅ Filtrat Awal dan Akhir	66
Tabel 4. 13 Persentase Removal BOD ₅	66
Tabel 4. 14 Persentase Removal Akhir Filtrat.....	77
Tabel 4.15 Hasil Uji ANOVA pengaruh Ketebalan Lumpur	93
Tabel 4.16 Hasil Uji ANOVA pengaruh Ukuran Media	94

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah instalasi pengolahan yang berfungsi mengolah air limbah domestik maupun industri agar tidak mencemari badan air. IPAL ini menghasilkan lumpur yang mengandung air, residu organik, dan logam anorganik. Lumpur hasil IPAL dikelola pada *unit Sludge Drying Bed* (SDB) dengan sistem pengeringan. Proses pengeringan dan laju pengeringan dapat dipengaruhi oleh faktor suhu, kelembaban relatif, kadar air lumpur, pembentukan kerak, kecepatan udara, dan adanya zat kimia (Danish *et al.*, 2016). Proses pengeringan lumpur sendiri menghadapi masalah penyediaan tempat pengeringan, pemanfaatan lumpur aktif yang telah dikeringkan dan sangat bergantung pada faktor sinar matahari (Sarah, 2005).

Prinsip pengolahan lumpur yaitu mengurangi kadar air dan volume lumpur yang salah satunya melalui pengeringan atau *dewatering* dengan unit pengolahan yang biasa disebut *sludge drying bed* (SDB). Pengeringan mampu mengurangi volume lumpur dengan meningkatkan kadar TS dan pengurangan pada komponen *organic volatile* sebesar 51-65% (Hu *et al.*, 2017). Operasi sistem ini terdiri atas periode pengisian lumpur (dari 1 sampai 10 hari) diikuti dengan periode pengeringan (dari 4 hari sampai 3 bulan). Setelah pengisian lumpur, sebagian kandungan air lumpur dikeringkan dengan cepat melalui gravitasi melalui residu *sludge* dan *filter granular* (Uggetti *et al.*, 2012). Sedangkan Indonesia sebagai negara tropis dengan curah hujan yang tinggi, yang membuat kondisi lingkungan lembab dan intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah pada setiap musim, sehingga proses pengeringan lumpur pada unit SDB dapat terganggu atau tidak berjalan sempurna (Hutagalung, 2012).

Ukuran dan jenis media filter pada unit SDB yang bervariasi juga mempengaruhi proses pengeringan lumpur. Media pasir untuk tempat pembuangan limbah buangan sebaiknya memiliki diameter efektif antara 0,30 mm - 0,75 mm dan koefisien keseragaman kurang dari 4. Nilai koefisien keseragaman (U_o) yang diperoleh adalah 2.422, 1.727 dan 2.029, dengan menggunakan analisis saringan dengan nilai permeabilitas masing-masing adalah 9×10^{-2} , 14×10^{-2} , dan 36×10^{-2} (cm/s) (Kuffour *et al.*, 2009). Sedangkan menurut Cofie *et al.* (2006), waktu pengeringan lumpur selama 15 hari, tebal lumpur (*cake*) di atas media filter 25-30 cm, tebal pasir 15-20 cm, dan tebal lapisan kerikil 25-30 cm.

Menurut Al-Nozaily *et al.* (2013), susunan media yang paling efektif harus memperhatikan kualitas pasir. Partikel pasir harus memiliki diameter (0,4-0,8 mm) dan harus berbentuk bulat untuk menghindari penyumbatan saringan. Sedangkan menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), lapisan bak pengering lumpur terdiri atas lapisan pasir setebal 200 – 300 mm dan lapisan penyangga berupa kerikil setebal 200 – 400 mm yang juga sebagai pelindung pipa *underdrain*. Pasir yang digunakan sebaiknya mempunyai ukuran efektif antara 0,3 – 0,75 mm dan koefisien keseragaman kurang dari 3,5. Ukuran kerikil yang digunakan biasanya 2,5 – 25 mm. Kadar air pada lumpur yang didapatkan setelah 10 hingga 15 hari pengeringan adalah 60 - 70%.

Selain pengaruh media, ketebalan lumpur juga mempengaruhi kecepatan pengeringan lumpur. Ukuran ketebalan lumpur di SDB memungkinkan untuk memperkirakan tingkat kenaikan tinggi lumpur, yang menentukan umur setiap siklus pengisian dan pengosongan. Tingkat ini merupakan faktor penting untuk mengevaluasi dan memperbaiki kinerja pengeringan unit SDB (Uggetti *et al.*, 2009). Ketebalan lumpur yang biasanya diaplikasikan menurut Strande *et al.* (2014) adalah 20 sampai 30 cm. Secara

keseluruhan, dapat diketahui bahwa tingkat evaporasi yang mencolok di musim panas yang dapat meningkatkan pengeringan lumpur dan akibatnya pengurangan volume. Pada musim dingin, penurunan tinggi lumpur lebih rendah (sekitar $1/3$ pengurangan lapisan lumpur). Pola ini menunjukkan bahwa karena kondisi lingkungan, tinggi lumpur meningkat di musim hujan dan menurun di musim kemarau (Uggetti *et al.*, 2009).

Oleh sebab itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk menentukan ukuran pasir sebagai media filter dan ketebalan lumpur dalam proses pengeringan lumpur yang ada pada unit SDB. Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa variasi ukuran media filter dan variasi ketebalan lumpur pada reaktor untuk mendapatkan waktu pengeringan lumpur yang paling efektif. Sehingga nantinya dapat dijadikan rekomendasi dan kriteria desain operasional unit SDB pada suatu instalasi pengolahan air limbah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa persentase volume filtrat yang dihasilkan pada unit SDB?
2. Berapa penyisihan filtrat optimum pada unit SDB?
3. Bagaimana pengaruh ukuran media filter dan ketebalan lumpur terhadap proses pengeringan lumpur pada unit SDB ?
4. Bagaimana waktu pengeringan yang efektif terhadap proses pengeringan lumpur pada unit SDB?

1.3 Tujuan

1. Menentukan persentase volume filtrat yang dihasilkan pada unit SDB
2. Menentukan penyisihan filtrat optimum pada unit SDB

3. Menentukan ukuran media pasir dan ketebalan lumpur yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur IPAL biologis pada unit SDB.
4. Menentukan waktu pengeringan lumpur yang efektif pada unit SDB.

1.4 Manfaat

1. Memberikan rekomendasi berupa kriteria desain dari unit SDB yang memiliki efisiensi optimal kepada pihak IPLT..
2. Memberikan rekomendasi waktu pengeringan lumpur yang efektif pada unit SDB kepada pihak IPLT.

1.5 Ruang Lingkup

1. Objek penelitian adalah unit *sludge drying bed* pada instalasi pengolahan lumpur tinja Kelurahan Keputih Kecamatan Sukolilo Kota Surabaya.
2. Parameter yang diuji adalah BOD₅, COD, TS, TSS, suhu lumpur, ammonia dan total coliform.
3. Parameter lingkungan yang diuji adalah suhu lingkungan dan intensitas cahaya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur IPAL Biologis

2.1.1 Pengertian Lumpur IPAL Biologis

Lumpur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) biologis adalah hasil samping pengolahan air limbah yang kandungan utamanya terdiri atas biomasa mikroba yang bersifat *voluminous* dengan kadar padatan rendah $\pm 1 - 2 \%$ (Soetopo *et al.*, 2011). Lumpur banyak dihasilkan dari pengolahan air limbah industri pabrik maupun air limbah kota. Perkembangan industrialisasi dan urbanisasi di negara berkembang membawa pertumbuhan substansial dalam volume produksi lumpur. Produksi lumpur berhubungan langsung dengan pengolahan air limbah, semakin banyak air limbah yang diolah semakin banyak produksi lumpur yang dihasilkan. Lumpur kebanyakan mengandung air, residu organik, dan logam anorganik (Danish *et al.*, 2016). Produksi lumpur tahunan telah meningkat secara signifikan di salah satu negara berkembang (sekitar 30 juta ton dengan kadar air 80%) karena peningkatan kapasitas pengolahan air limbah yang dramatis. Masalah lumpur tersebar luas karena fasilitas pengolahan lumpur sepuluh kali lebih rendah daripada fasilitas pengolahan air limbah (Hu *et al.*, 2017).

2.1.2 Sumber Lumpur IPAL Biologis

Lumpur yang dihasilkan dalam instalasi pengolahan air limbah berasal dari hasil pengendapan materi padatan (*solids*) di dalam unit-unit pengolahan. Berdasarkan sumbernya, lumpur dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *primary raw sludge* dan *waste activated sludge* (WAS). *Primary raw sludge* berasal dari padatan yang diendapkan pada proses pengendapan primer (*primary sedimentation*). Sementara itu, *waste activated sludge* ialah flok-flok yang terbentuk dari gabungan mikroorganisme dan sebagian polutan yang teroksidasi selama proses aerasi, yang

mengendap di dalam tangki pengendapan sekunder (*secondary clarifier*) (Lehr dan Keeley, 2005).

2.1.3 Karakteristik Lumpur IPAL Biologis

Lehr dan Keeley (2005), mengatakan sumber lumpur dibagi menjadi dua yaitu *primary raw sludge* dan *waste activated sludge*, masing-masing lumpur memiliki karakteristik yang berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 bahwa lumpur dari *primary raw sludge* memiliki warna yang lebih gelap dan kadar air lebih rendah dari lumpur *primary raw sludge*.

Tabel 2.1 Karakteristik Lumpur

	<i>Primary Raw Sludge</i>	<i>Waste Activated Sludge</i>
Sumber	Tangki Pengendapan Pertama	Tangki Pengendapan Sekunder
Warna	<i>Fresh sludge</i> : Abu-abu atau coklat muda Setelah terdekomposisi (septik) : abu-abu gelap atau hitam	Abu-abu muda, abu-abu Kekuningan, atau coklat gelap
Kadar air	95%	99,2-99,7%
pH	5-8	6,5-7,5
Alkalinitas (mg/L CaCO₃)	500-1500	580-1100
Asam Organik (mg/L Hac)	200-2000	1100-1700

Sumber : Lehr dan Keeley, 2005.

Lestari dan Yudihanto (2013), melakukan penelitian mengenai pengolahan lumpur tinja menjadi bahan bakar dengan hasil yang terlihat pada Tabel 2.2 hingga Tabel 2.4 mengenai karakteristik lumpur IPAL Biologis. Dilakukan kontrol suhu selama 7 hari hingga 14 hari, dan diakhir masa detensi masing-masing lumpur dilakukan analisis. Penurunan kadar air, nilai *volatile solids*, nilai karbon dan analisis nilai kalor merupakan parameter yang

digunakan untuk analisis karakteristik lumpur. Berat lumpur yang digunakan dalam percobaan kedua sebanyak 1,8 kg dengan variasi kecepatan aliran air 25 L/menit dan 15 L/menit.

Tabel 2.2 Hasil analisis karakteristik lumpur 7 hari

No.	Parameter	Kondisi Awal	Reaktor 3	Reaktor 6
1	Kadar air (%)	87,19	80,95	86,19
2	Kadar padatan (%)	12,81	19,05	13,81
3	<i>Volatile solids</i> (%)	74,44	72,72	70,94
4	Karbon (%)	41,36	40,4	39,41

Sumber : Lestari dan Yudihanto, 2013

Tabel 2.3 Hasil analisis karakteristik lumpur 14 hari

No.	Parameter (%)	Kondisi Awal	Reaktor 2	Reaktor 5
1	Kadar air (%)	87,19	13,65	81,29
2	Kadar padatan (%)	12,81	86,35	18,71
3	<i>Volatile solids</i> (%)	74,44	71,56	69,13
4	Karbon (%)	41,36	39,75	38,4

Sumber : Lestari dan Yudihanto, 2013

Tabel 2.4 Hasil analisis karakteristik lumpur 14 hari

No.	Parameter	Kondisi Awal	Reaktor 1	Reaktor 4
1	Kadar air (%)	87,19	10,53	67,9
2	Kadar padatan (%)	12,81	89,47	32,09
3	<i>Volatile solids</i> (%)	74,44	70,03	64,38
4	Karbon (%)	41,36	38,91	35,76

Sumber : Lestari dan Yudihanto, 2013

Dari Tabel 2.2 – Tabel 2.4 dapat dilihat bahwa besarnya kecepatan aliran udara dan lamanya waktu detensi sangat berpengaruh pada penurunan kadar air, nilai karbon, *volatile solids* dan nilai kalor. Penurunan kadar air tertinggi terdapat reaktor

dengan pemberian kecepatan aliran udara 25 L/menit. Dengan jumlah kadar air pada reaktor 3 sebesar 80,95%; reaktor 2 sebesar 13,65%; dan reaktor 1 sebesar 10,53%.

2.2 Pengolahan Lumpur Biologis

Lumpur yang dihasilkan dari sistem pengolahan air limbah dibedakan atas lumpur kimia-fisika dan lumpur biologi. Lumpur kimia-fisika berasal dari pemisahan hasil perlakuan proses fisika-kimia, sedangkan lumpur biologis berasal dari perlakuan biologi. Umumnya lumpur masih memiliki kadar air yang cukup tinggi, oleh karenanya perlu perlakuan lumpur yang merupakan bagian dari penanganan air limbah. Kedua jenis lumpur tersebut harus dikeluarkan dan dibuang ke luar instalasi pengolahan air limbah (IPAL), tetapi hal ini akan menimbulkan masalah bila langsung dibuang begitu saja dalam jumlah besar ke tempat penimbunan limbah padat. Tujuan utama pengolahan lumpur adalah mengurangi volume lumpur dengan cara memisahkan air dari dalam lumpur sebelum dibuang, agar mempermudah masalah pengangkutan.

Menurut penelitian Cahyadhi (2016), lumpur biologis yang telah diolah dapat dijadikan bahan baku kompos dengan data nilai kadar air 52%, pH lumpur adalah 3.84, Nilai C/N rasio sebesar 86.20 yang kemudian dilakukan proses pengomposan dengan perbandingan antara sludge, kotoran kambing dan serbuk gergaji (2:1:1) dengan waktu 4 minggu memenuhi baku mutu baik secara unsur makro, unsur mikro maupun unsur lainnya sebagai pupuk dengan nilai kadar air 52%, pH pupuk adalah 7.10, Nilai C/N rasio sebesar 20.81, kandungan C-Organik sebesar 27.54%, nilai kandungan N sebesar 22.38%, K sebesar 0.25% dan telah sesuai dengan baku mutu kompos SNI 19-7030-2004. Untuk pengomposan sludge sebaiknya dalam keadaan tidak basah karena akan mudah pada saat pencampuran dan pengadukan bahan baku pupuk kandang dan serbuk gergaji.

Menurut penelitian Lestari dan Yudihanto (2013), lumpur tinja pada *sludge drying bed* IPLT Keputih dapat dijadikan bahan bakar alternatif dengan metode biodrying. Lumpur yang digunakan memiliki karakteristik awal yaitu mengandung kadar air 87,19%, kadar padatan 12,81%, *volatile solids* 74,44%, karbon 41,36% dan nilai kalor 4168 cal/gram. Berdasarkan nilai kalor aktual (*include moisture content*) yang tertinggi, waktu detensi optimum diperoleh selama 18 hari dengan kecepatan aliran udara 25 L/menit tiap 0,23 kg berat kering atau setara dengan 6,52 m³ jam⁻¹ kg⁻¹. Pada kondisi tersebut nilai kalor aktual sebesar 3767,28 cal/gram.

Untuk itu pengurangan kandungan air dan volume lumpur merupakan hal yang penting, apabila lumpur dibuang ke lingkungan tanpa proses pengolahan, lumpur dapat menimbulkan gangguan lingkungan yang lebih berbahaya dari air limbah mengingat bahwa:

- lumpur mengandung pencemar yang lebih terkonsentrasi
- lumpur tetap memiliki kandungan air yang tinggi
- lumpur dapat mengandung jenis pencemar baru yang tidak terkandung sebelumnya di dalam air limbah akibat dari penambahan bahan kimia dan dari peruraian senyawa yang terkandung dalam lumpur.

Lumpur yang banyak mengandung padatan diperoleh dari hasil proses pemisahan padat-cair dari limbah yang sering disebut dengan *sludge* atau lumpur encer, di dalam *sludge* tersebut sebagian besar mengandung air dan hanya beberapa persen berupa zat padat. Umumnya persentase kandungan air tersebut dapat mencapai 95-99%. Lumpur yang dihasilkan unit pengolahan air limbah dapat dikelola hingga menjadi abu dengan kadar 0,3 % dengan melalui beberapa tahap pengolahan yang meliputi proses pemekatan dengan proses *thickening*, proses *dewatering*, proses pengering dan pembakaran. Filtrat yang dihasilkan dari proses pemekatan dan *dewatering* dikembalikan ke unit ekualisasi (IPAL) untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut.

Untuk dapat mengelola lumpur secara efektif dan tepat, maka perlu mengetahui karakteristik lumpur tersebut. Karakteristik lumpur tergantung pada sumber lumpur dan jenis industri penghasil air limbah serta sistem pengolahan IPAL. Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 memuat daftar dari berbagai jenis industri yang menghasilkan lumpur IPAL yang dianggap sebagai Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

Sudah banyak proses-proses pengolahan lumpur yang telah dikembangkan. Pada dasarnya ada lima kategori utama pengolahan lumpur yang diterapkan secara berurutan yakni pengkonsentrasian/pemekatan, stabilisasi, pengkondisian, pelepasan air dan pengeringan/ pembakaran (Devia, 2009).

2.2.1 Pengentalan Lumpur (*Thickening*)

Menurut Selintung *et al.* (2016), proses pengentalan lumpur bertujuan untuk meningkatkan kekentalan atau kandungan padatan dalam lumpur dengan cara pengeluaran air. Pada umumnya lumpur yang dihasilkan dari unit pengolahan air limbah masih encer dengan kandungan padatan antara 0,5-1,0% atau kandungan air 99,5-99%, sehingga perlu dipadatkan secara gravitasi hingga 2-3% atau kandungan air 97-98% dengan menggunakan *thickener*. Metode pengentalan lumpur menurut Pileggi *et al.* (2012), umum digunakan dan sesuai untuk berbagai jenis lumpur. Proses pengentalan lumpur juga harus mempertimbangkan kebutuhan pencernaan lumpur. Pada pra-pengentalan sampai lebih dari 4% TS sebelum pencernaan aerobik dapat menyebabkan pencernaan secara *autothermal* dan masalah yang terkait dengan proses ini seperti bau dan masalah pembusaan.

2.2.2 Stabilisasi Lumpur dengan *Sludge Digester*

Stabilisasi lumpur menurut Sunarti *et al.* (2014), merupakan proses degradasi komponen organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, serta menghilangkan senyawa toksik dan

mengeliminasi senyawa *volatile* yang menimbulkan aroma tidak sedap dengan memanfaatkan berbagai macam mikroorganisme. Stabilisasi sludge menggunakan *aerobic sludge digester* dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi komponen senyawa organik kompleks pada lumpur dari pengolahan secara biologis (lumpur aktif atau *biosolids*).

2.2.3 Pengeringan Lumpur (*Dewatering*)

Dewatering menurut Selintung *et al.* (2016) adalah menghilangkan sebanyak mungkin air yang terkandung dalam lumpur setelah proses pengentalan. Persyaratan kadar padatan kering lumpur yang diinginkan tergantung pada penanganan akhir yang akan dilakukan, umumnya berkisar 30%. Menurut Pileggi *et al.* (2012), pengeringan air limbah sering dibutuhkan di IPAL sebelum pembuangan akhir lumpur/*biosolids* atau sebagai pendahuluan untuk perawatan lebih lanjut. Proses *dewatering* secara signifikan berbeda dalam kemampuannya untuk mengurangi kadar air lumpur, metode pembuangan *sludge* akhir pada umumnya memiliki pengaruh besar pada metode pengeringan yang paling sesuai untuk IPAL tertentu. Karakteristik lumpur juga mempengaruhi kinerja pengeringan, endapan septik akan lebih sulit dilakukan daripada *sludge* mentah. Menurut Magri *et al.* (2016), lumpur yang telah mengandung 38 – 45 % setelah pengeringan dapat diklasifikasikan sebagai *semi-solids cake*.

Menurut Cofie *et al.* (2006), hal-hal yang mempengaruhi proses pengeringan adalah

1. Faktor iklim : Kelembapan, suhu, musim
2. Kualitas pasir : Kualitas pasir yang kurang baik dapat menyebabkan hancurnya partikel pasir dan menyebabkan adanya penyumbatan pori-pori media tersebut, sehingga laju filtrasi akan berkurang.

3. Stabilisasi lumpur : Lumpur tinja yang tidak terstruktur akan sulit untuk diendapkan dan proses *dewatering* akan berlangsung lebih lama.

Menurut Bagja (2014), proses pengeluaran air lumpur dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain menggunakan alat:

1. *Belt press*

Proses pengeluaran air lumpur yang digunakan di industri antara lain *filter belt press*. Tipe alat ini banyak digunakan di industri *pulp* dan kertas. Pengeluaran air dari lumpur yang dapat dilakukan dengan alat ini melalui 2 tahapan, :

- Daerah Pengeluaran Air (*Draining Zone*)

Pada daerah ini lumpur mengalir dan tersebar secara merata di atas lembaran *wire*. Pengeluaran air dilakukan tanpa tekanan, hanya mengandalkan gravitasi sampai mencapai kadar padatan tertentu, selanjutnya lumpur memasuki daerah pengeringan bertekanan.

- Daerah Pengeringan Bertekanan (*Pressing Zone*)

Air keluar dari lumpur dengan cara dijepit di antara dua *belt* atau *wire* sambil ditekan oleh rol secara bertahap di daerah *pressing zone*, dengan tekanan meningkat sejalan dengan mengecilnya rol. Pada saat dijepit, air diperas ke luar sampai akhir daerah bertekanan, yang selanjutnya memasuki daerah pengelupasan lumpur dari *belt* atau *wire* (*share zone*). Sebelum difungsikan kembali di daerah pengeluaran air, *belt* atau *wire* perlu dicuci dahulu. Umumnya kadar padatan kering yang bisa dicapai antara 30-40% atau kandungan air 60-70%, untuk lumpur kimia-fisika dan 22-30% atau kandungan air 70-78%, untuk lumpur biologi. Pengkondisian lumpur dengan

menambahkan polimer perlu dilakukan untuk mempercepat dan mempermudah pengeluaran air.

Alat pengering lumpur dirancang untuk beban 150-300 kg padatan kering/m lebar *wire* per jam untuk lumpur yang sulit dipisahkan airnya, sedangkan untuk lumpur yang mudah dipisahkan airnya 250-500 kg padatan kering/m lebar *wire*/jam. *Belt* penjepit baik bagian atas maupun bawah, setelah melepaskan lumpur, perlu dicuci, sebelum difungsikan kembali di daerah pengeluaran air. Kelebihan alat ini adalah kapasitas olah yang besar dan kandungan padatan kering yang relatif tinggi. Kelemahan yaitu membutuhkan biaya operasional yang relatif tinggi karena penggunaan bahan kimia polielektrolit yang tinggi dan kebutuhan energi listrik yang besar. Disamping itu maintenance membutuhkan biaya yang lebih tinggi dan operasional lebih sulit karena permasalahan di *belt/wire* dan *tracking system* (alat pengarah *belt/wire*).

2. *Filter press*

Prinsip kerja sistem ini adalah memberi tekanan pada lumpur yang berada di antara lempengan-lempengan filter (*filter plate*). Tekanan diberikan melalui gaya hidrolik di kedua sisi lempengan. Filter ini tersusun dari *plate and frame filter* berjumlah banyak, dimana bagian dalam dari frame tersebut ditarik oleh filter kain yang bersambungan. Setelah frame terkunci karena tekanan hidrolik atau tekanan tangan, lumpur akan tertekan masuk dari tabung suplai ke dalam ruang filtrasi. Air yang tersaring karena tekanan itu akan jatuh dari frame, lumpur akan mengental karena kehilangan air dan tersisa di bagian dalam. Penambahan tekanan berkisar antara 1-10 kgf/cm², tetapi karena resistan tekanan yang masuk bertambah besar. Apabila sudah terjadi kondisi seperti ini maka pengisian lumpur dihentikan. Tipe alat penyaring tekanan ini umumnya digunakan di industri kecil, antara lain seperti industri tekstil. Kelebihan dari sistem ini adalah

sederhana dalam konstruksi dan biaya operasional yang relatif lebih rendah. Kelemahan adalah hanya dapat digunakan untuk penanganan lumpur yang sedikit.

3. *Screw press*

Screw press seperti terlihat di Gambar 9.10 menghasilkan lumpur kering (*cake*) dengan kadar padatan kering 30 – 70% atau kandungan air 30-70%. Apabila lumpur yang akan diolah berasal dari campuran lumpur kimia-fisika dengan lumpur biologi, maka perlu ditambahkan koagulan polimer atau polielektrolit (PE), sebaliknya apabila hanya berasal dari lumpur kimia-fisika tanpa penambahan koagulan polimer atau polielektrolit (PE), dengan pemakaian umumnya sekitar 1-2 ppm.

Besarnya tekanan yang dihasilkan tergantung dari pengaturan perbedaan jarak antara puncak ulir tekan sepanjang poros dengan kekuatan tekan *flange* penahan yang ditentukan oleh kondisi dan jumlah pegas yang digunakan

Alat *screw press* sangat hemat energi. Penggunaan alat *screw press* semakin banyak diterapkan di industri khususnya industri *pulp* dan kertas.

4. *Drying bed*

Salah satu metode paling sederhana adalah *drying bed* atau bak pengering lumpur. Pengeluaran air lumpur dilakukan melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan *drying bed*. Deskripsi bak pengering berupa bak dangkal berisi media penyaring pasir setinggi 10-20 cm dan batu kerikil sebagai penyangga pasir antara 20-40 cm, serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar bak pengering dibuat saluran atau pipa pembuangan air dan di atasnya diberi

lapisan kerikil (diameter 10-30 mm/Æ) setebal 20 cm dan lapisan pasir kasar (3-5 mm/Æ) setebal 20-30 cm. Media penyaring merupakan bahan yang memiliki pori besar untuk ditembus air. Pasir, ijuk dan kerikil merupakan media penyaring yang sering digunakan.

Pengisian lumpur ke bak pengering sebaiknya dilakukan 1 kali sehari dengan ketebalan lumpur di bawah 15 cm. Mengingat keterbatasan daya tembus panas matahari, maka kedalaman bak kurang dari 50 cm. Jika lumpur masuk terlalu banyak, permukaan lumpur tampak mengering tetapi lapisan bawah masih basah, sehingga pengurangan air perlu waktu berhari-hari. Jika saringan tersumbat maka air tidak dapat keluar, sehingga pengurangan kadar air tidak terjadi.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengeringan alami dengan matahari, maka air akan keluar melalui saringan dan penguapan. Pada mulanya keluarnya air melalui saringan berjalan lancar dan kecepatan pengurangan air tinggi, tetapi jika bahan penyaring (pasir) tersumbat maka proses pengurangan air hanya tergantung kecepatan penguapan. Kecepatan pengurangan air pada bak pengering lumpur seperti ini bergantung pada penguapan dan penyaringan, dan akan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, sinar matahari, hujan, ketebalan lapisan lumpur, kadar air, sifat lumpur yang masuk dan struktur kolam pengeringan. Waktu pengeringan biasanya antara 3-5 hari.

Kelebihan sistem ini adalah pengoperasian yang sangat sederhana dan mudah, biaya operasional relatif rendah dan hasil olahan lumpur bisa kering atau kandungan padatan yang tinggi. Kelemahan sistem ini adalah membutuhkan lahan yang luas dan sangat tergantung cuaca.

5. *Centrifuge*

Pada prinsipnya alat ini memisahkan padatan dalam lumpur dari cairan melalui proses sedimentasi dan sentrifugasi. Adabeberapa tipe sentrifugasi tetapi yang umum digunakan adalah tabung horizontal berbentuk kerucut-silindris yang di dalamnya dilengkapi juga dengan *screw conveyor* yang dapat berputar. Kecepatan putaran *conveyor* ini sedikit lebih lambat dibandingkan dengan putaran tabung horizontal.

Lumpur masuk melalui suatu tabung yang tak bergerak terletak sepanjang garis pusat tabung, kemudian didorong keluar oleh *conveyor* dan didistribusikan ke bagian sisi tabung. Lumpur mengendap dan dipadatkan oleh adanya kekuatan centrifugasi, kemudian dibawa oleh *conveyor* ke daerah pengeringan dalam tabung di bagian yang runcing, cairannya yang telah terpisah dikeluarkan di bagian yang lainnya. Pada sistem ini padatan kering mencapai sampai 50% atau kandungan air 50%. Pengkondisian lumpur dengan menambahkan koagulan polimer adalah untuk mempercepat dan mempermudah pengeluaran air. Pemakaian koagulan polimer antara 2 – 6 kg/ton padatan lumpur kering.

Biaya investasi dan operasi alat sentrifugal mahal, karena diperlukan bahan kimia pengkondisi dan konsumsi energi listrik yang tinggi. Biaya pemeliharannya juga tinggi jika dibandingkan dengan alat yang lain

6. *Rotary drum vacuum filter*

Penyaringan terjadi pada permukaan drum yang berputar. Drum berputar ini dibagi dalam beberapa bagian yang masing – masing berada di bawah tekanan vakum. Sekitar 20 – 40% bagian *drum* akan terendam lumpur dan mengambil zat padat membentuk padatan lumpur yang menempel di permukaan karena diserap pompa vakum. Sebelum bagian drum dengan

padatan lumpur yang menempel terendam kembali, padatan tersebut akan terlepas setelah dicuci. Lumpur kimia-fisika dapat dikeluarkan airnya sampai mencapai padatan kering sebesar 7-9% atau kandungan air 91-93% tanpa perlu dikondisikan dahulu dengan bahan kimia.

Lumpur biologi mencapai padatan kering sebesar 4-9% atau kandungan air 91-96%, sedangkan lumpur campuran mencapai padatan kering sebesar 5-9% atau kandungan air 91-95%. Beban lumpur kimia – fisika umumnya 30 kg padatan kering /m² jam, sedangkan untuk lumpur biologi atau lumpur campuran bebannya lebih kecil yaitu 10 -20 kg padatan kering/m²jam dengan hasil padatan kering sekitar 15% dan sebelumnya perlu dikondisikan terlebih dahulu. Kelebihan dari cara ini adalah kapasitas pengolahan yang besar. Kelemahannya adalah pencapaian padatan kering yang masih rendah dan alat ini lebih cocok digunakan untuk lumpur yang berserat.

2.2.4 Disposal

Lumpur didefinisikan sebagai *solids* (padatan) yang dihilangkan dalam proses pengolahan air minum (maupun air limbah), dan lumpur ini akan dipekatkan untuk dibawa ke pembuangan akhir (*disposal*) (Julian *et al.*, 2015). Rizzardini dan Goi (2014), menyatakan lumpur aktif merupakan salah satu proses biologis yang paling banyak digunakan dalam IPAL yang menghasilkan lumpur limbah dalam jumlah tinggi. Lumpur limbah dapat dikelola dengan dua cara utama:

- Limbah yang dibuang di tempat pembuangan akhir
- Pengomposan
- Insinerasi atau produksi beton, batu bata dan aspal

Komposisi lumpur limbah menurut Mahath (2016), kaya akan unsur mikro dan makro, namun lumpur limbah juga mengandung senyawa beracun dan organisme patogen. Ada

berbagai macam metode netralisasi lumpur limbah. Pengomposan merupakan metode yang efektif untuk mengubah lumpur limbah menjadi pupuk yang efektif. Pengomposan terutama karena adanya mikroorganisme yang ada dalam sampel dapat mengubah lumpur limbah menjadi kompos.

2.3 Sludge Drying Bed (SDB)

Unit *sludge drying bed* (SDB) berfungsi untuk membantu proses pengeringan lumpur dari unit *final clarifier* dengan penguapan alamiah oleh sinar matahari (Dian dan Herumurti, 2016). Unit ini biasanya berbentuk persegi panjang, yang terdiri dari lapisan pasir, kerikil, dan pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan tergantung dari cuaca, terutama sinar matahari (Metcalf dan Eddy, 2003). SDB dilengkapi dengan *filter cloth* dan lapisan pasir sehingga air yang terkandung dalam lumpur akan meresap melewati filter dan pasir. Sedangkan partikel padatan akan tertahan di permukaan lapisan pasir dan akan mengalami proses pengeringan (Hamonangan *et al.*, 2017).

Unit SDB berfungsi untuk menampung endapan lumpur dari unit pengolahan biologis. Lumpur diangkat dan diletakkan di atas lapisan pasir sehingga cairan akan turun ke pasir dibawahnya. Pasir berfungsi sebagai media penyaring untuk memisahkan cairan dan padatan pada lumpur. Supernatan (cairan yang telah terpisah dari padatan) hasil proses pengeringan lumpur ditampung pada saluran drainase yang berada di bawah bak pengering untuk diresirkulasi menuju ke unit pengolahan biologis sebagai bahan pengencer (Putri, 2011). Menurut Pileggi *et al.* (2012), SDB dapat digunakan untuk pengeringan lumpur dari proses anaerobik atau aerobik. Lapisan atas pada SDB terdapat pasir yang dangkal, kemudian dibawahnya terdapat kerikil. Dimana lumpur basah akan dialirkan melewati media pasir dan kerikil, sedangkan lumpur yang terhambat akan dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. SDB

digunakan disebagian besar pabrik pengolahan limbah berukuran kecil dan menengah yang terletak di daerah beriklim hangat dan kering.

Adapun prinsip dari pengoperasian SDB adalah sebagai berikut:

- Tahap I : terjadi pengurangan kadar air dalam lumpur melalui proses filtrasi pada tekanan rendah. Pada tahap ini kadar air bisa turun hingga 80%.
- Tahap II: terjadi proses penguapan dari sisa kandungan air dalam lumpur. Pada tahap ini kadar air dalam lumpur bisa mencapai 65%.

Lumpur yang telah kering dikuras secara manual atau mekanis. Kadar air dari lumpur yang akan dikeringkan melalui *drying bed* ini tidak lebih dari 90% (Budiati, 1989). Menurut Qasim (1985), waktu pengeringan lumpur tinja adalah 10 – 15 hari. Waktu pengeringan lumpur yang cukup dimaksudkan agar diperoleh kondisi kering (kadar air *cake* optimal 60 - 80%), yang mudah dalam pengangkutannya sehingga *cake* dapat dipakai sebagai tanah urug pada *landfill*, kompos, atau untuk proses pengeringan selanjutnya.

2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan SDB

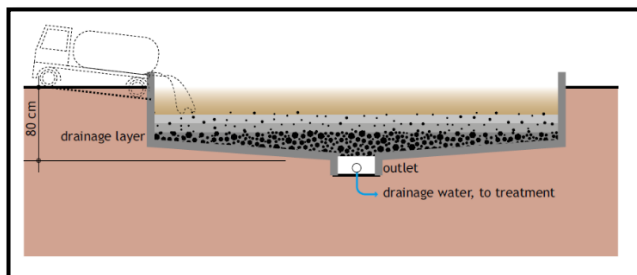
Kelebihan dari SDB adalah pengoperasian yang sangat sederhana dan mudah, biaya operasional relatif rendah dan hasil olahan lumpur bisa kering atau kandungan padatan yang tinggi. Kelemahan sistem ini adalah membutuhkan lahan yang luas dan sangat tergantung cuaca (Selintung *et al.*, 2016)

SDB digunakan untuk pengeringan dan stabilisasi lumpur karena operasi dan biaya pemeliharaan yang rendah. Namun, masih ada keterbatasan informasi dari teknologi ini dibandingkan teknologi konvensional lainnya, dan sangat sedikit informasi

tentang penggunaan teknologi ini di negara-negara berkembang (Hu *et al.*, 2017).

2.3.2 Media pada SDB

SDB dilengkapi saringan dangkal yang terdiri atas pasir dan kerikil dengan saluran pembuangan di bagian bawah untuk mengumpulkan lindi. Lumpur dibuang ke permukaan untuk pengeringan (Strande *et al.*, 2014). Menurut Kuffour *et al.* (2009), kerikil kasar yang digunakan berukuran 2-3 cm dengan tebal 15 cm dan halus berukuran 0,5-1 cm dengan tebal 15 cm dan menggunakan pasir berukuran sedang dengan tebal 20 cm. Ukuran pasir dibedakan menjadi 3 bagian yaitu $F1 = \geq 0,1 - \leq 0,5$ mm ; $F2 = \geq 0,5 - \leq 1$ mm ; dan $F3 = \geq 1 - \leq 1,5$ mm. Besarnya penyisihan TS adalah 76,2% (F1), 74%(F2), dan 70,5% (F3); TSS sebesar 95,1 % (F1), 93,4% (F2), dan 88,9% (F3); dan COD sebesar 87,9 % (F1), 87,4% (F2), dan 85,3% (F3).



Gambar 2.1 Susunan media filter unit SDB

Sumber : Tilley *et al.*, (2014)

Media pasir pada unit *sludge drying bed* setebal 15 cm (diameter ukuran 0,2-0,6 mm) dan kerikil setebal 25 cm (diameter 10-19 mm). *Loading rate* lumpur antara 196-321 kg TS/m².tahun. Kadar *solids* (TS) dalam lumpur $\geq 20\%$ dengan rata-rata pengeringan selama 2 minggu (Cofie *et al.*, 2006). Pada Gambar 2.1 dapat dilihat susunan media filter yang ada pada unit SDB

dengan tinggi bak 80 cm. Bagian dasar terdapat kerikil, kemudian di atasnya terdapat pasir, paling atas yaitu lumpur dan pada bagian bawah terdapat drainase sebagai tempat keluarnya filtrat.

Proses filtrasi merupakan salah satu proses yang terjadi pada pengeringan lumpur. Menurut Widyastuti dan Sari (2011), filtrasi merupakan proses pemisahan *solid-liquid* dengan cara melewatkan *liquid* melalui media berpori atau bahan-bahan berpori untuk menyisihkan atau menghilangkan sebanyak banyaknya butiran halus zat padat tersuspensi dari *liquida*. Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada 4 (empat) yaitu :

1. Kualitas air baku, semakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
2. Suhu, Suhu yang baik yaitu antara 20-30°C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
3. Kecepatan Penyaringan, Pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian menyatakan bahwa kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas efluen. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan.
4. Diameter butiran, secara umum kualitas efluen yang dihasilkan akan lebih baik bila lapisan saringan pasir terdiri dari butiran-butiran halus. Jika diameter butiran yang di gunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

Proses pengeringan di tempat pengeringan didasarkan pada drainase cairan melalui pasir dan kerikil ke dasar SDB, dan penguapan air dari permukaan lumpur ke udara. Bergantung pada karakteristik lumpur, sekitar 50-80% volume lumpur mengalir

sebagai cairan (atau lindi), yang perlu dikumpulkan dan dirawat sebelum dibuang (Tilley *et al.*, 2014).

Setelah mencapai kekeringan yang diinginkan, lumpur dikeluarkan dari SDB secara manual atau mekanis. Menurut Maryani *et al.* (2014), semakin tebal media semakin baik dalam penurunan kekeruhan dan bakteri patogen. Hal ini disebabkan oleh banyak dan lamanya air melewati media filter. Saat proses adsorpsi terjadi pengurangan partikel yang lebih kecil dan partikel tersuspensi seperti koloid dan partikel terlarut. Adsorpsi terjadi selama melalui media penyaringan akibat perbedaan muatan permukaan media dengan partikel tersuspensi dan koloid di sekitarnya.

Pasir gunung merupakan salah satu jenis pasir yang biasa digunakan dalam proses filtrasi dibandingkan pasir sungai karena memiliki karakteristik fisik yang lebih baik. Salah satu karakteristik pasir gunung yaitu, memiliki warna yang cenderung hitam dan tidak mudah pecah sehingga pada saat proses filtrasi berlangsung, media pasir tidak menghasilkan TS yang dapat mengganggu proses filtrasi yang terjadi. Pada Tabel 2.5 dapat dilihat hasil analisis ayakan 500 gram pasir gunung atau biasa disebut pasir Lumajang yang telah dilakukan oleh Fitriahsari (2018).

Tabel 2.5 Hasil Analisis Ayakan Pasir Lumajang

Aayakan No	Tertinggal		Kumulatif (%)	
	Gram	%	Tertinggal	Lolos
4	0	0	0	100
8	0	0	0	100
16	86	17,2	17,2	82,8
30	135	27	44,2	55,8
50	217	43,4	87,6	12,4
100	51	10,2	97,8	2,2
Pan	11	2,2	0	0
Jumlah	500	100	246,8	

Dari hasil analisis ayakan yang telah dilakukan oleh Fitriahsari (2018), dapat terlihat bahwa Ipersentase pasir yang paling banyak memiliki nomor ayakan 30 dan 50 dengan diameter ukuran pasir yaitu 0,595 mm dan 0,297 mm.

Media pasir dengan ukuran yang kecil (*effective size* = 0,15 – 0,35 mm), akan memiliki kecepatan filtrasi yang lebih lambat. Kecepatan filtrasi yang relatif lambat akan memungkinkan terjadinya pembentukan lapisan *biofilm* di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera dan larva serangga air. Menurut penelitian Hamimal *et al.* (2013), filter dengan kecepatan lambat mampu menurunkan parameter kekeruhan, total coliform, dan COD. Penurunan parameter kekeruhan mencapai 95,65%, sedangkan penurunan total coliform mencapai 100%, dan penurunan parameter COD mencapai 90,00%. Hal ini dipengaruhi oleh peran mikroorganisme berupa lapisan *schmutzdecke* dalam proses penyisiran tersebut. Menurut Sukawati (2008), lapisan *biofilm* terdiri dari sel-sel mikroorganisme yang melekat erat ke suatu permukaan sehingga berada dalam keadaan diam, tidak mudah lepas atau berpindah tempat (*irreversible*). Biasanya lapisan *biofilm* ini digunakan untuk menandakan zona aktivitas biologi yang umumnya terjadi di dalam bed pasir.

Penelitian Anggun (2011), semakin tinggi pasir yang digunakan maka akan semakin besar penurunan CODnya. Hal ini disebabkan karena mikroba yang terdapat dalam air limbah mengalami kontak yang cukup lama dengan media filter pasir sehingga mempengaruhi penurunan CODnya. Jika semakin tinggi pasir yang digunakan maka waktu kontak antara mikroba dengan pasir dan air limbah menjadi semakin lama karena limbah akan sering mengalami sirkulasi. Hal ini mengakibatkan penurunan COD menjadi semakin besar, penurunan tersebut disebabkan oleh mikroba yang terdapat pada lapisan *biofilm*.

2.3.3 Ketebalan Lumpur

Menurut Zhang *et al.* (2015), tinggi lumpur merupakan faktor operasional yang penting untuk mengoptimalkan pemukim sekunder operasi. Tinggi lumpur yang lebih tinggi bisa menghasilkan konsentrasi lumpur kembali yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa pemukim sekunder yang lebih tinggi dapat menyebabkan tekanan cairan hidrolik yang lebih tinggi di bagian bawah, yang kemudian dapat menyebabkan penebalan lumpur dan menghambat denitrifikasi. Karena itu, ketinggian pemukim sekunder dapat ditingkatkan di IPAL untuk menghasilkan lumpur kembali yang lebih tinggi konsentrasi, sehingga memastikan aktivitas mikroba dalam tangki aerasi. Sementara itu, yang lebih tinggi ketinggian pemukim sekunder dapat menyebabkan produksi air berkualitas lebih baik dari IPAL. Oleh karena itu, peningkatan tinggi pemukim sekunder harus memberikan banyak manfaat dalam IPAL.

Ketebalan lumpur yang biasanya diaplikasikan menurut Strande *et al.* (2014), adalah 20 sampai 30 cm. Pada umumnya yang sering digunakan yaitu 20 cm yang merupakan pilihan yang lebih baik untuk mendapatkan lapisan lumpur yang lebih tebal karena lebih banyak lumpur yang disaring pada satu SDB. Pescod (1971), menemukan bahwa peningkatan lapisan lumpur hanya 10 cm memperpanjang waktu pengeringan yang diperlukan sebesar 50 sampai 100%. Dinding samping SDB yang lebih tinggi juga penting untuk pengeringan karena menampung beban berbeda. Misalnya, jika lapisan 20 cm diaplikasikan dengan kadar air 90%, tinggi awal sebelum air yang dikeringkan akan jauh lebih besar dari 20 cm. Jika SDB menerima lumpur yang dibuang dari truk dan bukan tangki pengendapan, dindingnya harus lebih tinggi dari lapisan lumpur 20 sampai 30 cm yang direncanakan untuk memungkinkan peningkatan volume cairan.

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai unit *sludge drying bed* telah banyak dilakukan. Rata-rata waktu pengeringan yang telah dilakukan adalah 7-14 hari. Pada Tabel 2.5 terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan pembelajaran penelitian selanjutnya.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

No	Nama peneliti dan tahun	Waktu Pengeringan	Hasil Penelitian
1	Kuffour <i>et al.</i> , 2009	10 hari	Kerikil kasar 2-3 cm dengan tebal 15 cm Kerikil halus 0,5-1 cm dengan tebal 15 cm Pasir dengan tebal 20 cm. Ukuran pasir yaitu $F1 = \geq 0,1 - \leq 0,5$ mm ; $F2 = \geq 0,5 - \leq 1$ mm ; dan $F3 = \geq 1 - \leq 1,5$ mm. TS : 76,2% (F1), 74%(F2), dan 70,5% (F3) TSS : 95,1 % (F1), 93,4% (F2), dan 88,9% (F3); COD sebesar 87,9 % (F1), 87,4% (F2), dan 85,3% (F3)
2	Cofie <i>et al.</i> , 2006	14 hari	Pasir setebal 15 cm (diameter ukuran 0,2-0,6 mm). Kerikil setebal 25 cm (diameter 10-19 mm). Removal TS : 80% dan 100% larva helminth.
3	Gaby dan Herumurti, 2016	10 hari	Tebal pasir 30 cm, tebal kerikil 30 cm, tebal lumpur 30 cm, Kadar air 20%, Kadar <i>solids</i> 80%, kadar <i>solids</i> dalam lumpur 2,9%

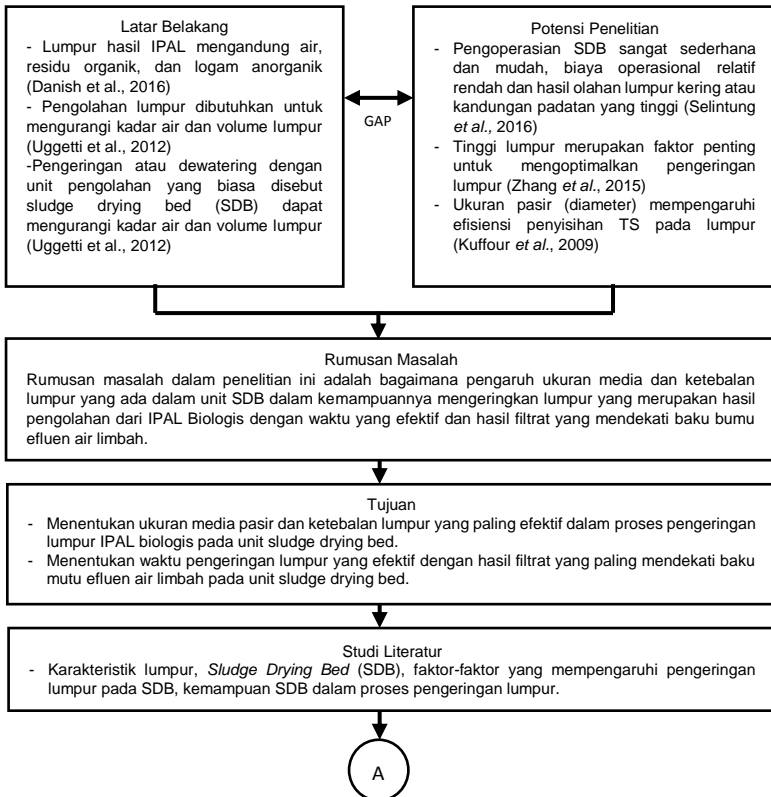
No	Nama peneliti dan tahun	Waktu Pengeringan	Hasil Penelitian
4	Marbun, 2006	10 hari	Tebal pasir halus 20 cm, tebal pasir kasar 10 cm, Tebal kerikil fine gravel 7,5 cm, tebal kerikil medium gravel 7,5 cm, tebal kerikil coarse gravel 7,5 cm, tebal lumpur 30 cm, kadar <i>solids</i> 70%, kadar air 30%
5	Oktarina dan Haki, 2013	7 hari	Tebal pasir 20 cm, tebal kerikil 20 cm, tebal lumpur 45 cm
6	Laporan hasil uji filtrat SDB IPLT Keputih, November 2017	-	BOD ₅ 70,79 mg/L COD 209,44 mg/L TSS 2 mg/L Minyak dan Lemak 3,7 mg/L pH 6,45

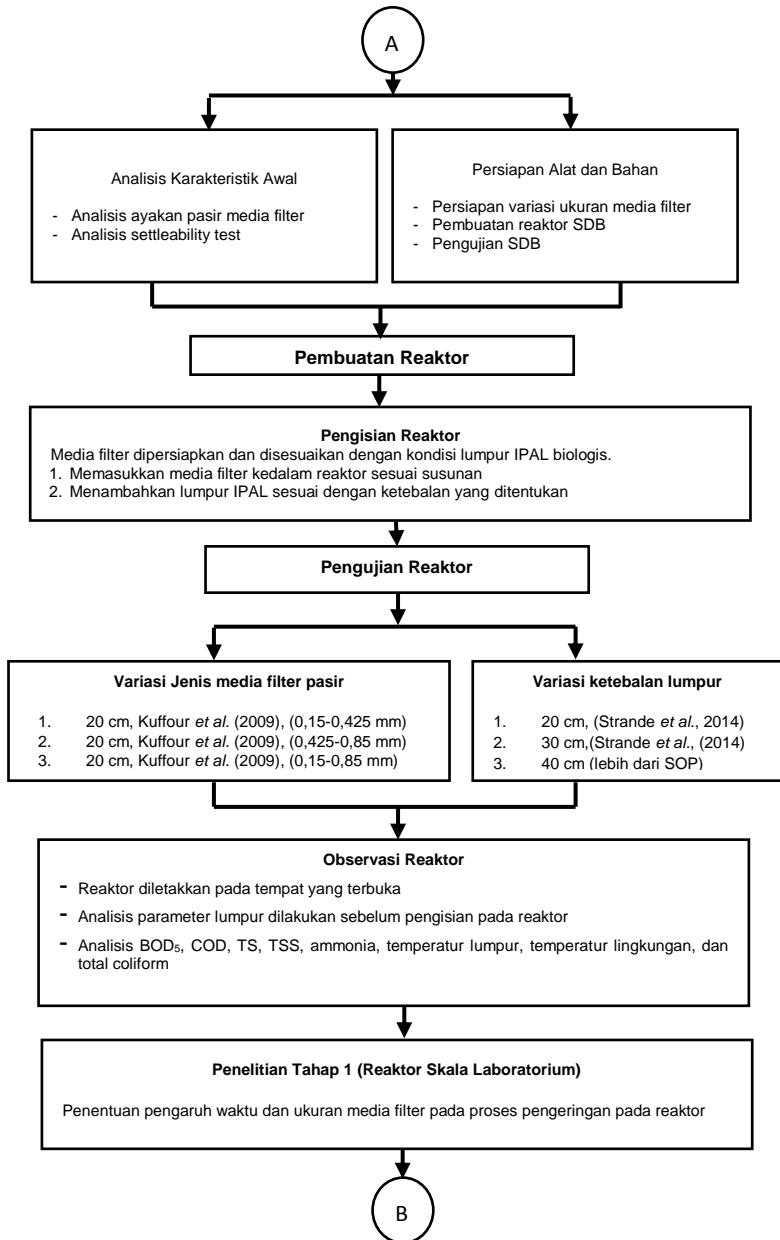
BAB 3

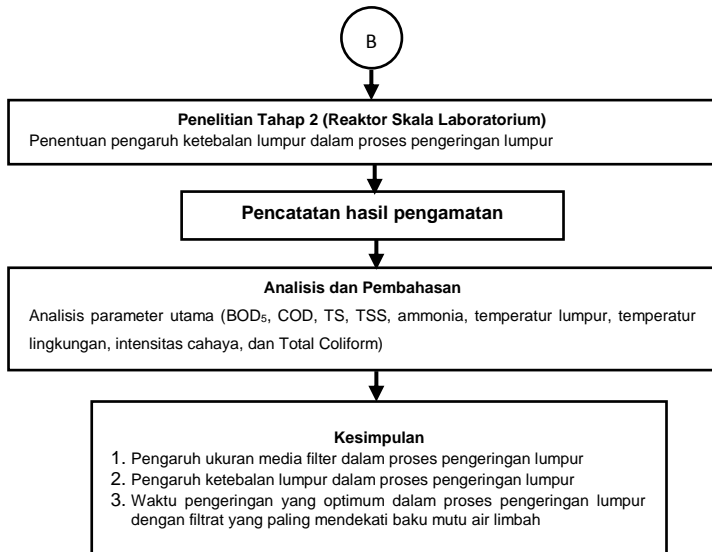
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran awal mengenai alur penelitian yang memuat metode yang perlu dilakukan selama penelitian. Penyusunan kerangka penelitian yang jelas dan sistematis akan mempermudah proses penelitian. Kerangka penelitian terdiri atas “GAP” antara kondisi ideal dengan konsisting yang digunakan sebagai dasar menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.







3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori terkait topik perancangan ini sehingga dapat menjadi acuan dalam tugas akhir ini. Studi literatur dilakukan dengan cara pencarian beberapa sumber literatur yang ada. Sumber tersebut adalah *text book*, jurnal penelitian, artikel, peraturan, dan laporan tugas akhir. Beberapa literatur pendukung yang menunjang perancangan meliputi:

- a. Karakteristik lumpur IPAL Biologis
- b. Pengolahan lumpur biologis dengan unit *Sludge Drying Bed*
- c. Kelebihan dan kekurangan SDB
- d. Susunan media pengeringan lumpur SDB
- e. Proses pengeringan lumpur

3.3 Analisis Karakteristik Awal

Analisis karakteristik awal yang dilakukan adalah menganalisis karakteristik lumpur yang masuk di unit SDB IPLT Keputih dianalisis dengan metode *settleability test* untuk menguji waktu yang dibutuhkan lumpur untuk mengendap dan jumlah lumpur yang terendapkan selama waktu tersebut (Metcalf and Eddy, 2003). Analisis *settleability test* dilakukan dengan menggunakan tabung silinder ukuran 1000 mL, seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Settleability Sludge Test*

Sumber : Rumbaugh, 2015

Selain itu dilakukan analisis ayakan pada pasir dengan tujuan mendapatkan ukuran pasir yang digunakan sebagai variasi ukuran media. Pada penelitian ini digunakan pasir gunung yaitu pasir Lumajang dengan karakteristik pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik Pasir Gunung (Pasir Lumajang)

Parameter	Nilai
Berat Jenis	2,60
Kadar lumpur (%)	1,4
Berat Volume (kg/m^3)	1,67
Resapan (%)	2,8

Sumber : Pertiwi *et al.*, 2011

Analisis ayakan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil ITS dengan menggunakan nomer ayakan yaitu 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 100, dan PAN. Hasil analisis ayakan pasir gunung (pasir Lumajang) dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Analisis Ayakan Pasir Gunung (Pasir Lumajang)

Ayanan No	Ukuran (mm)	Tertinggal		Kumulatif (%)	
		Gram	%	Tertinggal	Lolos
8	2,36	56,79	11,37	11,4	88,6
12	1,68	25,46	5,1	16,5	83,5
16	1,18	33,37	6,68	13,18	76,82
20	0,85	42,27	8,467	31,65	68,35
30	0,595	57,97	11,61	43,26	56,74
40	0,425	53,79	10,78	54,04	45,96
50	0,297	76,21	15,27	69,31	30,69
60	0,250	29,84	5,98	75,29	24,71
100	0,150	73,81	14,79	90,08	9,92
Pan	-	49,67	9,95	0	0
Jumlah		499,18	100		

Dari hasil analisis laboratorium maka digunakan variasi ukuran media filter yaitu 0,150-0,425 mm; 0,425-0,85 mm; dan 0,150-0,85 mm, dimana kriteria desain untuk ukuran media filter yaitu 0,2-0,6. Pada penelitian ini digunakan variasi ukuran media filter dengan ukuran dibawah dan diatas kriteria desain dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran media yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur.

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

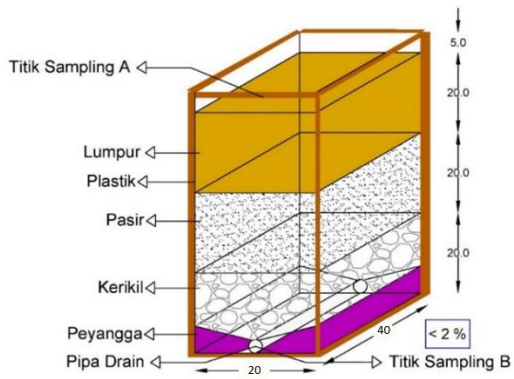
Peralatan dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain lumpur IPAL biologis (lumpur dari unit SDB pada IPLT Keputih), alat untuk sampling (jirigen dan ember). Reaktor SDB

skala laboratorium beserta filter media (kerikil dan pasir), dilakukan pencucian media pasir dan kerikil dengan menggunakan air bersih (air PDAM) sebelum dimasukkan ke dalam reaktor dengan tujuan TSS yang terkandung dalam media tidak mempengaruhi nilai TSS pada lumpur. *Glassware* (sesuai kebutuhan), dan reagen yang diperlukan untuk melakukan analisis TS, TSS, BOD₅, COD, total coliform, ammonia, suhu lumpur, suhu lingkungan dan intensitas cahaya.

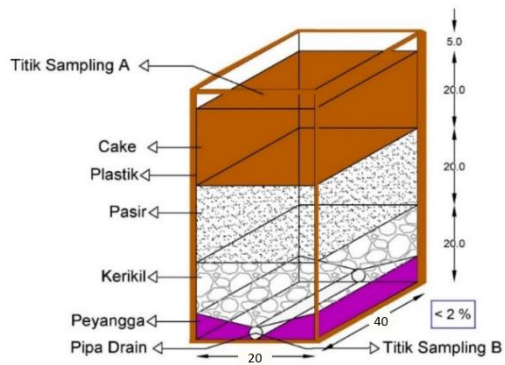
3.5 Pembuatan Reaktor

Pada penelitian ini dibuat reaktor sebanyak 9 dengan perbedaan ukuran ketinggian lumpur dan ukuran media filter pada masing-masing reaktor. Penelitian ini menggunakan penutup pada bagian atasnya dan dilakukan secara duplo. Pembuatan reaktor pada penelitian ini adalah reaktor *Sludge Drying Bed* (SDB), yaitu sebuah bak yang terdiri atas beberapa lapisan media filter, lapisan atas terdapat pasir yang dangkal, kemudian dibawahnya terdapat kerikil dan pada bagian bawah terdapat sistem underdrain untuk jalan keluarnya air yang telah melewati media filter tersebut.

Reaktor SDB yang direncanakan yaitu menggunakan kerangka kayu dengan lapisan plastik pada bagian dalamnya. Variasi jenis media filter pasir yang digunakan adalah pasir dari lumajang dan pasir sungai biasa dengan ketebalan 20 cm dan ketebalan lumpur 20 cm, 30 cm dan 40 cm. Kemiringan reaktor sebesar 2%. Sketsa susunan reaktor SDB skala laboratorium dapat dilihat pada Gambar 3.2 hingga Gambar 3.5 dengan ukuran panjang dan lebar yaitu 20 cm x 60 cm dan ketinggian menyesuaikan ketebalan variasi lumpur. Pada Gambar 3.4 jarak peletakan antar reaktor yaitu 50 cm, dan pada Gambar 3.5 ketinggian penutup minimal 2 meter, dan reaktor akan diletakkan pada *green house* yang ada di belakang jurusan Teknik Lingkungan ITS.



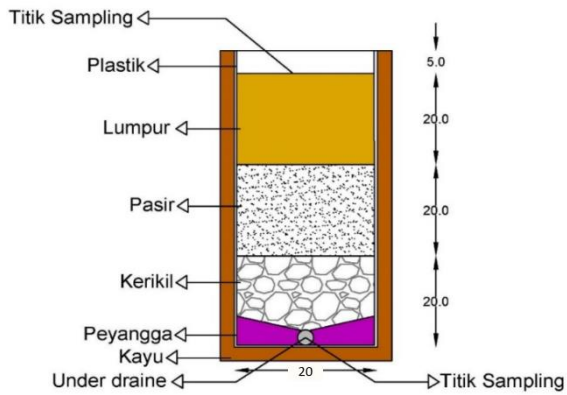
(a)



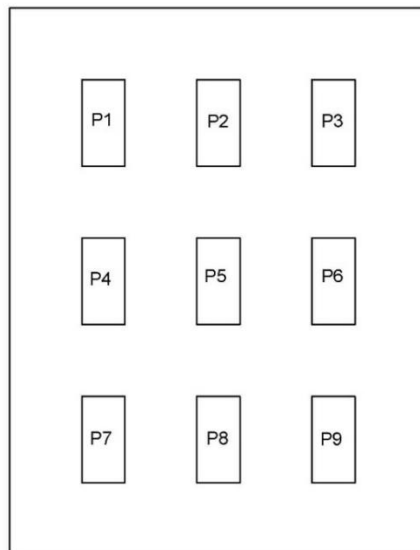
(b)

Gambar 3.2 Rencana Bentuk Reaktor

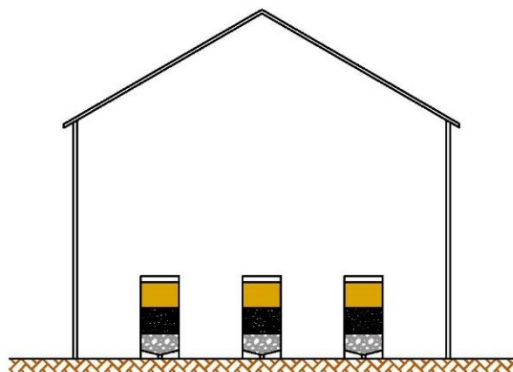
(a) sebelum pengeringan ; (b) setelah pengeringan



Gambar 3.3 Kerangka Reaktor Tampak Samping



Gambar 3. 4 Denah Peletakan Reaktor



Gambar 3. 5 Tampak samping

Perhitungan jumlah orifice pada pipa :

Luas = Keliling lingkaran x Panjang pipa

$$= \frac{1}{2} \times 3,14 \times 2,5 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

$$= 117,75 \text{ cm}^2$$

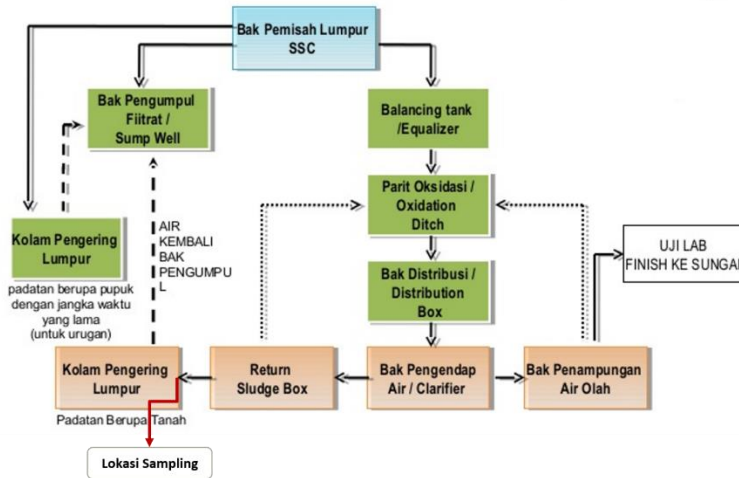
Jarak lubang = 1 cm

Diameter lubang = 10 mm = 0,1 cm

- 30 cm = $0,1 \text{ cm} \cdot n + (1 \text{ cm} \cdot (n + 1))$
- 30 cm = $0,1 \text{ cm} \cdot n + 1 \text{ cm} \cdot n + 1$
- 29 cm = $1,1 \text{ cm} \cdot n$
- n = 26 buah
- 3,925 cm = $0,1 \text{ cm} \cdot n + (1 \text{ cm} \cdot (n + 1))$
- 3,925 cm = $0,1 \text{ cm} \cdot n + 1 \text{ cm} \cdot n + 1$
- 2,925 cm = $1,1 \text{ cm} \cdot n$
- n = 3 buah
- Total lubang = 26 buah x 3 buah = 78 buah

3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Sampling Awal



Gambar 3.6 Lokasi Sampling Awal

Pelaksanaan sampling awal dilakukan pada pipa inlet pada unit SDB yang kemudian BOD₅, COD, TS, TSS, suhu lumpur, suhu lingkungan, intensitas cahaya, ammonia, dan total coliform dianalisis sebagai karakteristik awal sampel. Pengambilan sampel lumpur awal dilakukan secara *grab sampling* atau hanya dilakukan satu kali dengan total volume lumpur yang diambil pada pipa inlet SDB yaitu 486 L. Kemudian dilakukan pengambilan sampel lumpur masing-masing 36 L, 54 L, dan 72 L yang kemudian dimasukkan kedalam masing-masing reaktor yang telah dibuat dengan ketinggian lumpur sesuai dengan yang telah ditentukan yaitu 20 cm, 30 cm dan 40 cm. Dilakukan pencatatan volume lumpur, apabila ada penambahan volume lumpur pada saat penelitian berlangsung. Menurut kriteria desain yang ada ketinggian lumpur yang biasa digunakan adalah 20-30 cm, sedangkan pada penelitian ini digunakan juga ketinggian lumpur 40 cm, hal ini

bertujuan untuk mengetahui tingkat efektifitas ketinggian lumpur dalam proses pengeringan lumpur.

3.6.2 Pelaksanaan Penelitian Laboratorium

Setiap masing – masing reaktor diisi dengan lumpur sesuai dengan variasi ketebalan lumpur yaitu 20, 30, dan 40 cm dengan volume lumpur 36 L, 54 L, dan 72 L dan ukuran media yang telah ditentukan yaitu 20 cm. Variasi ini dilakukan untuk menentukan waktu proses pengeringan yang paling efektif selama penelitian. Selain itu penelitian ini akan dilakukan secara duplo dan ditambahkan satu unit reaktor kontrol tanpa adanya filter. Keterangan variasi dapat dilihat pada Tabel 3.3 sehingga digunakan 9 reaktor dan 1 reaktor sebagai kontrol.

Tabel 3.3 Variasi ukuran media dan ketebalan lumpur

Ukuran pasir	Ketebalan Lumpur (cm) (dengan penutup)		
	20	30	40
0,15-<0,425 mm	H20	H30	H40
0,425-<0,85 mm	K20	K30	K40
0,150-0,85 mm	C20	C30	C40

Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel lumpur dan filtrat pada masing-masing reaktor dan dilakukan analisis BOD₅, COD, TS, TSS, suhu lumpur, suhu lingkungan, intensitas cahaya, ammonia, dan total coliform. Titik Sampling A dilakukan analisis TS, COD, total coliform, ammonia, dan suhu lumpur. Titik Sampling B dilakukan analisis TS, TSS, BOD₅, COD, ammonia, dan total coliform. Untuk sekitar reaktor akan dilakukan analisis suhu lingkungan dan intensitas cahaya.

Pada titik sampling B akan dilakukan perbandingan hasil analisis yang didapatkan dengan baku mutu air limbah yang berlaku sesuai PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN Nomor: P.68/MENLHK/SETJEN/-

KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, yang dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sehingga apabila hasil analisis memenuhi kriteria baku mutu air limbah, maka filtrat dari SDB dapat langsung dibuang ke badan air, dan apabila masih melebihi baku mutu, maka filtrat SDB akan dikembalikan lagi pada unit sump well atau bak pengumpul filtrat.

Lumpur yang telah dikeringkan pada *sludge drying bed* diharapkan sudah memiliki kandungan padatan yang tinggi (70% *solids*) (Permen PUPR NOMOR 04/PRT/M/2017). Sehingga dalam analisis kadar air, jika telah mencapai 30% maka penelitian dicukupkan. Namun jika belum memenuhi 30%, maka penelitian akan dilakukan selama 30 hari dengan mencari titik stabil massa setiap reaktor.

3.7 Metode Analisis Parameter

Metode analisis parameter dilakukan untuk mengetahui masing-masing tujuan dari analisis yang akan dilakukan, seperti yang terlihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Tujuan Analisis Parameter

NO	ANALISIS	WAKTU	TUJUAN
1	BOD ₅	Awal dan Akhir	Menentukan tingkat biodegradabilitas sampel (Rasio COD/BOD ₅)
2	COD	3 hari sekali (minimal 5 titik)	Menentukan kadar kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasi bahan organik
3	TS dan TSS	1 kali sehari	Menentukan kandungan dan penurunan jumlah padatan tersuspensi yang terkandung dalam lumpur
4	Total Coliform	Awal dan Akhir	Menentukan kandungan dan penurunan koloni bakteri coliform dalam sampel
5	Ammonia	Awal dan Akhir	Menentukan kandungan dan penurunan ammonia dalam sampel
6	Suhu Lingkungan	1 kali sehari	Menentukan pengaruh perubahan suhu terhadap pengeringan lumpur
7	Suhu Lumpur	1 kali sehari	Menentukan pengaruh perubahan suhu terhadap pengeringan lumpur
8	Intensitas Cahaya	1 kali sehari	Menentukan pengaruh perubahan intensitas cahaya terhadap pengeringan lumpur
9	Kadar Air	1 kali sehari	Menentukan waktu pengeringan pada lumpur

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan SNI yang berlaku serta alat dan bahan yang tersedia di laboratorium.

1. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Metode analisis yang digunakan untuk menentukan nilai BOD₅ adalah metode Winkler (SNI 06-6989.3-2004). Sedangkan untuk menentukan nilai COD digunakan metode Reflux (SNI 06-6989.2-2004).

2. Analisis TS dan TSS

Metode yang digunakan untuk menentukan TS dan TSS yang terdapat dalam sampel adalah secara gravimetri (SNI 06-6989.3-2004).

3. Analisis Total Coliform

Analisis bakteri *Coliform* (*Total Coliform*) dapat digunakan metode MPN (Standard Method, 2005).

4. Analisis Ammonia

Analisis ammonia menggunakan metode spektrofotometer yang mengacu pada (SNI 06-6989.30-2005)

5. Analisis Suhu Lingkungan

Analisis suhu lingkungan menggunakan metode termometer yang mengacu pada (SNI 06-6989.23-2005)

6. Analisis Suhu Lumpur

Analisis suhu lumpur menggunakan metode termometer yang mengacu pada (SNI 06-6989.23-2005)

7. Analisis Intensitas Cahaya

Analisis intensitas cahaya menggunakan metode *luxmeter* yang mengacu pada (SNI 16-7062-2004)

3.8 Pengolahan Data

Data yang telah didapat dari hasil analisis laboratorium, kemudian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan analisis Anova *one way* atau uji analisis satu faktor untuk mengetahui hubungan variasi ketebalan lumpur dan ukuran media pasir dengan masing-masing parameter yaitu BOD₅, COD, TS, TSS, ammonia, suhu lingkungan, suhu lumpur, intensitas cahaya, dan total coliform untuk setiap titik sampel pada setiap reaktor. Pada setiap reaktor terdiri atas ukuran media dan ketebalan lumpur yang berbeda-beda dengan tujuan untuk mengetahui susunan ukuran media dan ketebalan lumpur yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur pada unit SDB.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Awal Karakteristik Lumpur IPAL Biologis dan Media Filter

Analisis ayakan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil ITS dengan menggunakan nomer ayakan yaitu 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 100, dan PAN. Hasil analisis ayakan pasir gunung (pasir Lumajang) dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Ayakan Pasir yang Digunakan

No Mesh	Ukuran	Tertinggal		Kumulatif (%)	
	(mm)	Gram	%	Tertinggal	Lolos
8	2,36	56,79	11,37	11,4	88,6
12	1,68	25,46	5,1	16,5	83,5
16	1,18	33,37	6,68	13,18	76,82
20	0,85	42,27	8,467	31,65	68,35
30	0,595	57,97	11,61	43,26	56,74
40	0,425	53,79	10,78	54,04	45,96
50	0,297	76,21	15,27	69,31	30,69
60	0,250	29,84	5,98	75,29	24,71
100	0,150	73,81	14,79	90,08	9,92
Pan	-	49,67	9,95	0	0
Jumlah		499,18	100		

Dari hasil analisis laboratorium maka digunakan variasi ukuran media filter yaitu 0,150-<0,425 mm; 0,425-<0,85 mm; dan 0,150-0,85 mm, dimana kriteria desain untuk ukuran media filter yaitu 0,2-0,6. Pada penelitian ini digunakan variasi ukuran media filter dengan ukuran dibawah dan diatas kriteria desain dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran media yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur.

Analisis karakteristik awal juga bertujuan untuk mengetahui karakteristik lumpur hasil pengolahan IPAL biologis di

bak *Return Activated Sludge* dari unit *clarifier* IPLT Keputih yang digunakan pada penelitian ini. Analisis karakteristik lumpur meliputi analisis kadar air, TS, TSS, dan COD yang merupakan parameter utama penelitian ini, selain itu juga dianalisis suhu, intensitas cahaya, BOD, amonia, dan total coliform sebagai parameter tambahan. Berdasarkan hasil analisis ini dapat diketahui nilai konsentrasi lumpur yang digunakan pada penelitian utama. Hasil analisis awal karakteristik lumpur biologis IPLT Keputih dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Karakteristik Awal Lumpur IPAL Biologis

Parameter	Nilai	Satuan
Lumpur IPAL Biologis		
Kadar Air	97,95	%
TS	17.425	mg/L
TSS	5.750	mg/L
COD	23.500	mg/L
BOD	2510,8	mg/L
Amonium	58,4	mg/L
Total Coliform	40000	MPN/100mL
Media Filter		
Laju Filtrasi	0,169	m/jam
Laju Filtrasi diameter 0,15-<0,425	0,080	m/jam
Laju Filtrasi diameter 0,425-<0,85	0,279	m/jam
Laju Filtrasi diameter 0,15-0,85	0,085	m/jam
Sg	2,69	-
Kadar	0,42	%

Karakteristik pasir dengan melakukan analisis laju filtrasi pasir bertujuan untuk mengetahui kecepatan pasir Lumajang pada saat dilewati oleh air.

Rasio BOD₅/COD setelah dilakukan analisis BOD dan COD pada lumpur IPAL biologis yaitu 0,1 atau dapat dikatakan bahwa konsentrasi COD pada lumpur IPAL biologis yaitu 9 kali lebih besar dari konsentrasi BOD. Hal tersebut bisa terjadi karena

lumpur yang digunakan yaitu lumpur yang ada pada unit *return sludge* dan merupakan lumpur hasil pengolahan dari unit *oxydation ditch*. Lumpur yang digunakan telah melewati pengolahan biologis dengan sistem aerasi yang dapat menurunkan konsentrasi BOD 79,41-95,16% (Said dan Utomo, 2007). Menurut Putri *et al.* (2012), rasio BOD/COD pada reaktor dengan pengolahan aerob yang paling optimal adalah 0,1 karena memiliki tingkat degradasi atau penguraian organiknya tinggi.

4.2 Penelitian Utama

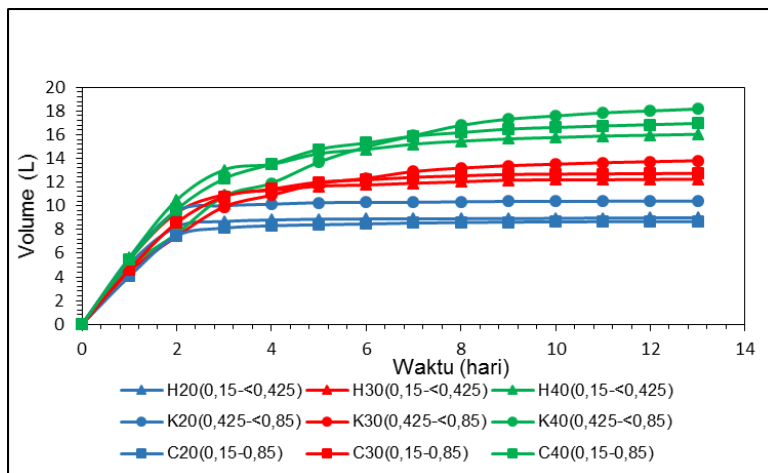
Penelitian utama berlangsung selama 30 hari secara *batch*. Reaktor pengendapan berukuran 20 cm x 40 cm x 100 cm diletakkan di depan *workshop* Departemen Teknik Lingkungan, yang di atasnya terdapat atap sehingga hujan tidak mempengaruhi pelaksanaan penelitian. Reaktor terdiri dari 9 buah reaktor yang memiliki variasi ukuran media pasir dan ketebalan lumpur yang berbeda-beda, yaitu :

Tabel 4.3 Variasi masing-masing reaktor

Reaktor	Ketebalan Lumpur (cm)	Ukuran media pasir (mm)	Vol. lumpur yang dimasukkan (L)
H20	20	0,15 - <0,425	16
H30	30	0,15 - <0,425	24
H40	40	0,15 - <0,425	32
K20	20	0,425 - <0,85	16
K30	30	0,425 - <0,85	24
K40	40	0,425 - <0,85	32
C20	20	0,15 - 0,85	16
C30	30	0,15 - 0,85	24
C40	40	0,15 - 0,85	32

4.2.1 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Volume Filtrat yang Dihasilkan

Proses pengeringan lumpur pada unit SDB memiliki prinsip yang sama dengan proses filtrasi, yaitu melewatkan lumpur yang pada media pasir dan kerikil dan akan keluar melalui pipa underdrain yang biasa disebut filtrat. Tujuan filtrasi adalah untuk menghilangkan partikel yang tersuspensi dan koloidal dengan cara menyaringnya dengan media filter (Selintung *et al.*, 2016). Dalam penelitian ini, volume lumpur biologis yang akan dimasukkan ke dalam reaktor yaitu 16 L, 24 L, dan 32 L dengan ketinggian masing-masing lumpur 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Pengukuran volume filtrat bertujuan untuk mengetahui perbedaan kemampuan ukuran media pasir dalam mengalirkan padatan yang ada pada lumpur. Sehingga dapat diketahui kemampuan masing-masing reaktor dalam proses pengeringan lumpur yaitu lebih cenderung melalui proses evaporasi atau proses filtrasi. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat volume filtrat yang dihasilkan masing-masing reaktor.



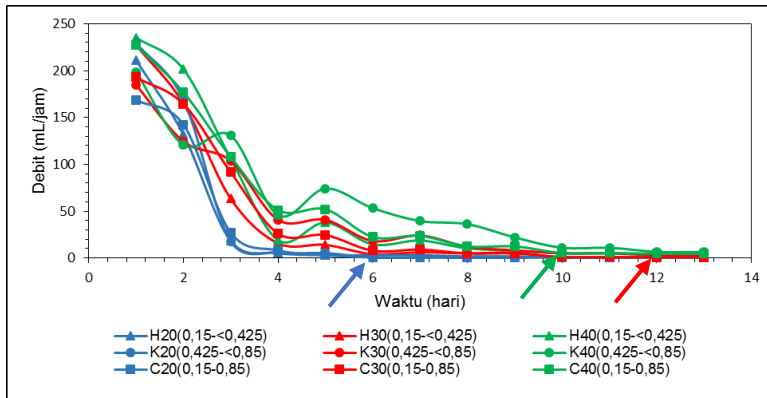
Gambar 4. 1 Akumulasi Volume Filtrat yang Dihasilkan

Pada ukuran media 0,425-<0,85 memiliki hasil filtrat yang lebih banyak dibandingkan dengan hasil filtrat reaktor lain dengan ukuran media 0,15-<0,45 dan 0,15-0,85. Hal ini dapat terjadi karena laju filtrasi ukuran media 0,425-<0,85 lebih besar dari yang lain, sehingga hasil filtratnya lebih banyak. Pada grafik juga dapat dilihat bahwa proses pengeringan lumpur IPAL biologis lebih cenderung pada proses filtrasi dibandingkan dengan proses evaporasi, yang dibuktikan dengan volume filtrat yang dihasilkan lebih dari 50% dari volume lumpur yang dimasukkan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Persentase Volume Filtrat

Variabel	Volume awal lumpur (L)	Volume Filtrat (L)	Persentase Filtrat
H20(0,15-<0,425)	16	8,99	56,2%
H30(0,15-<0,425)	24	12,25	51,0%
H40(0,15-<0,425)	32	16,04	50,1%
K20(0,425-<0,85)	16	10,41	65,1%
K30(0,425-<0,85)	24	13,81	57,5%
K40(0,425-<0,85)	32	18,17	56,8%
C20(0,15-0,85)	16	8,68	54,3%
C30(0,15-0,85)	24	12,74	53,1%
C40(0,15-0,85)	32	16,96	53,0%

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat debit filtrat yang keluar dari setiap reaktor setiap harinya.



Gambar 4.2 Debit Filtrat

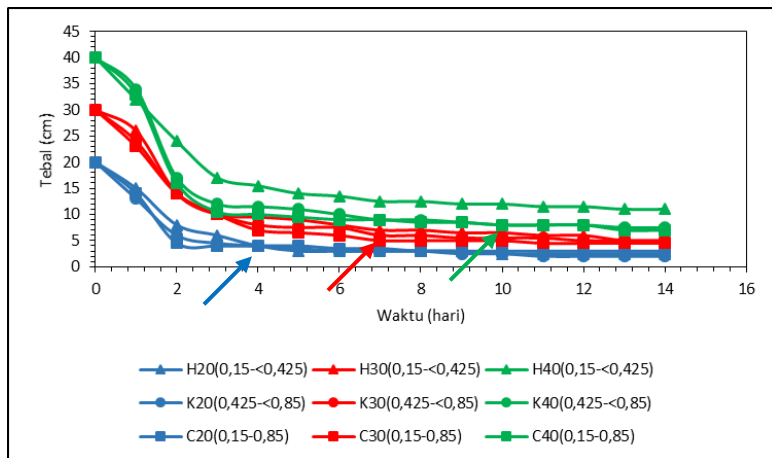
Reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm cenderung memiliki debit filtrasi yang lebih besar dibandingkan ketebalan 30 cm dan 20 cm seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Hal ini karena pada lumpur dengan ketinggian 40 cm memiliki tekanan yang lebih besar daripada yang lain, sehingga proses filtrasi berjalan lebih cepat. Dari hasil volume filtrat dan ketebalan lumpur setiap reaktor, dapat dilihat bahwa semakin tebal lumpur dan semakin besar laju filtrasi media pasir maka debit dan volume filtrat semakin besar. Namun dari ketiga reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm, reaktor dengan ukuran media 0,15-<0,425 mm memiliki debit yang paling kecil, hal ini bisa terjadi karena laju filtrasi dari pasir tersebut paling kecil diantara yang lainnya.

Dari sembilan reaktor tersebut, reaktor dengan ketebalan lumpur 20 cm mulai stabil pada hari ke 6, ketebalan lumpur 30 cm mulai stabil pada hari ke 10, dan ketebalan 40 cm mulai stabil pada hari ke 12. Dalam hal ini, dapat dikatakan stabil karena debit filtrat yang keluar melalui underdrain yaitu < 1 mL/jam. Pada hari ke 14, filtrat sudah tidak banyak yang keluar atau sudah memiliki debit < 1 mL/jam.

4.2.2 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Penurunan Ketebalan Lumpur

Filtrat yang keluar dari proses pengeringan akan menyebabkan volume lumpur yang tertahan diatas media juga akan menurun, sehingga ketebalan lumpur pada setiap reaktor juga akan berkurang. Ketebalan lumpur yang biasanya diaplikasikan menurut Strande *et al.* (2014), adalah 20 sampai 30 cm. Pada umumnya yang sering digunakan yaitu 20 cm yang merupakan pilihan yang lebih baik untuk mendapatkan lapisan lumpur yang lebih tebal karena lebih banyak lumpur yang disaring pada satu SDB dengan waktu pengeringan yang lebih cepat dibandingkan ketebalan 30 cm. Pada

Ketebalan lumpur diukur pada masing-masing reaktor di tiga titik kemudian dirata-rata. Hal tersebut bertujuan supaya ketebalan lumpur yang diukur dapat mewakili ketebalan lumpur secara keseluruhan. Pengukuran ketebalan lumpur dilakukan setiap hari hingga ketebalan lumpur stabil. Hasil pengukuran ketebalan masing-masing lumpur pada reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

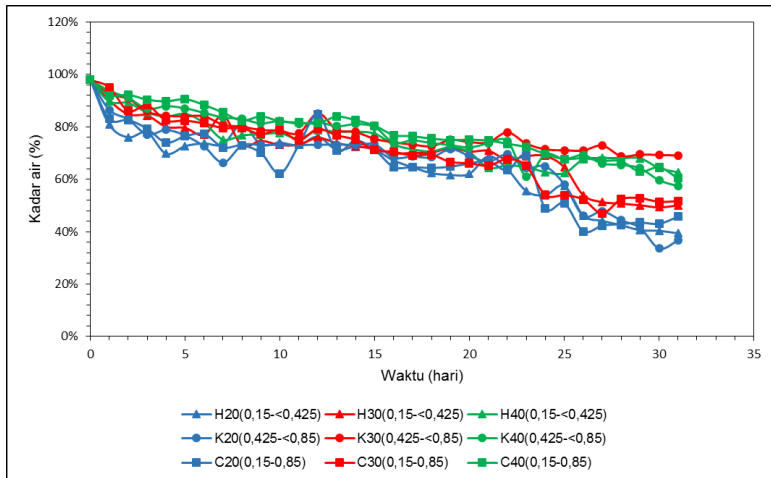


Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran Ketebalan

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa reaktor H40 memiliki ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan reaktor yang lain, hal tersebut bisa terjadi karena laju filtrasi reaktor dengan ukuran media pasir 0,15-0,425 paling kecil dengan ketebalan lumpur awal yaitu 40 cm. Pada reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm mulai stabil pada hari ke 4, reaktor dengan ketebalan 30 cm mulai stabil hari ke 7, dan reaktor dengan ketebalan 40 cm mulai stabil pada hari ke 10. Ketebalan lumpur setiap reaktor dapat dikatakan stabil ketika penurunan ketebalan lumpur dari hari ke hari tidak lebih dari 1 cm. Pada reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm menunjukkan kestabilan lumpur yang paling cepat dibandingkan yang lain. Hal tersebut karena volume lumpur awal yang dimasukkan lebih sedikit, sehingga proses filtrasi dan evaporasi berlangsung lebih cepat.

4.2.3 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Penurunan Kadar Air Lumpur

Pada penelitian ini, kadar air merupakan parameter utama. Analisis kadar air dilakukan setiap hari dengan tujuan mengetahui laju penurunan kadar air pada setiap reaktor. Menurut PERMEN PUPR NOMOR 04/PRT/M/2017, lumpur yang telah dikeringkan pada *sludge drying bed* diharapkan sudah memiliki kandungan padatan yang tinggi (70% *solids*). Sehingga dalam analisis kadar air, jika telah mencapai 30% maka penelitian dicukupkan. Namun jika belum memenuhi 30%, maka penelitian akan dilakukan selama 30 hari. Selain proses filtrasi, pada proses pengeringan juga terjadi proses evaporasi atau penguapan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, intensitas cahaya, luas permukaan, tekanan. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat hasil analisis kadar air pada setiap reaktor.



Gambar 4. 4 Hasil Analisis Kadar Air

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa persentase kadar air yang ada pada setiap reaktor cenderung menurun pada tiap harinya. Selama penelitian berlangsung yaitu dilakukan proses pengeringan lumpur IPAL Biologis selama 30 hari, belum ada reaktor yang memiliki kadar air 30%, seperti yang terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Akhir Analisis Kadar Air

Variabel	Hasil Akhir kadar Air (%)
H20 (0,15 - <0,45)	39,4
K20 (0,425 - <0,85)	36,6
C20 (0,15 - 0,85)	45,7
H30 (0,15 - <0,45)	50,0
K30 (0,425 - <0,85)	69,1
C30 (0,15 - 0,85)	51,7
H40 (0,15 - <0,45)	62,7
K40 (0,425 - <0,85)	57,4

Variabel	Hasil Akhir kadar Air (%)
C40 (0,15 – 0,85)	60,4

Dari Tabel 4.5 dapat terlihat bahwa reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm memiliki hasil kadar air akhir paling kecil. Hal tersebut dapat terjadi karena intensitas cahaya lebih mudah masuk kedalam lumpur dibandingkan dengan reaktor yang memiliki ketebalan yang lebih. Selain itu kadar air lumpur dengan ketebalan 20 cm sebagian besar telah keluar melalui pipa underdrain. Sedangkan reaktor dengan ketebalan lumpur awal 30 cm dan 40 cm lebih besar karena kurangnya faktor-faktor yang mendukung proses evaporasi terjadi lebih cepat, sehingga pada hari ke 30 masih belum terdapat reaktor yang memiliki kadar air 30%.

4.2.4 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi COD Filtrat

Pada penelitian ini, analisis COD filtrat dilakukan setiap hari. Tujuan dilakukannya analisis COD adalah untuk mengetahui kemampuan removal bahan organik setiap reaktor setelah melalui media filter. Hasil analisis COD dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Hasil Analisis COD Filtrat

Variabel	Konsentrasi (mg/L)						
	0	1	2	3	4	5	6
H20(0,15-<0,425)	23500	15	95	75	130	150	125
H30(0,15-<0,425)	23500	55	145	75	90	160	120
H40(0,15-<0,425)	23500	35	145	170	90	100	120
K20(0,425-<0,85)	23500	55	125	55	90	140	110
K30(0,425-<0,85)	23500	65	105	55	70	125	140

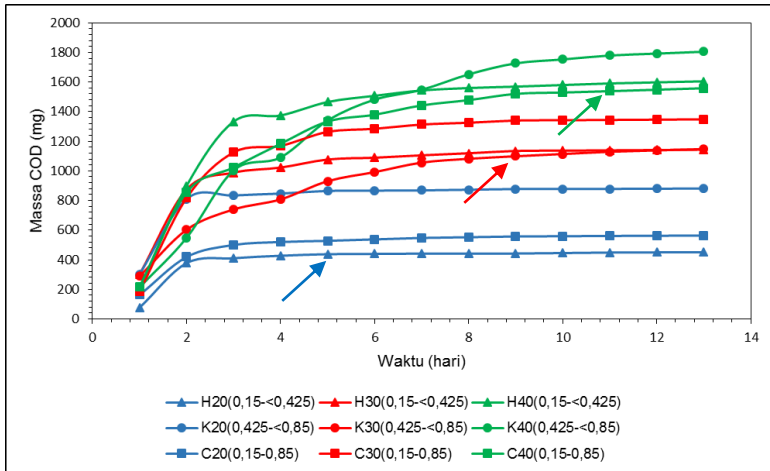
Variabel	Konsentrasi (mg/L)						
	0	1	2	3	4	5	6
K40(0,425-<0,85)	23500	45	115	145	80	140	110
C20(0,15-0,85)	23500	40	75	125	100	100	130
C30(0,15-0,85)	23500	40	160	140	70	160	110
C40(0,15-0,85)	23500	40	150	65	130	120	85

Lanjutan Tabel 4.6.

Variabel	Konsentrasi (mg/L)						
	7	8	9	10	11	12	13
H20(0,15-<0,425)	125	70	70	130	130	130	130
H30(0,15-<0,425)	110	115	110	140	140	90	90
H40(0,15-<0,425)	80	65	50	90	90	95	95
K20(0,425-<0,85)	110	115	115	115	115	115	115
K30(0,425-<0,85)	110	90	85	120	120	110	110
K40(0,425-<0,85)	70	120	140	100	100	80	80
C20(0,15-0,85)	130	125	125	120	120	120	120
C30(0,15-0,85)	130	100	125	80	80	105	105
C40(0,15-0,85)	110	120	140	70	70	90	90

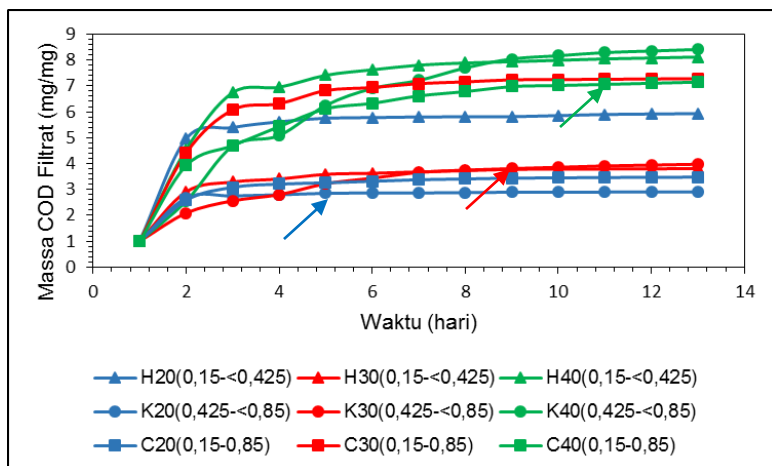
Dari Tabel 4.6 dapat dilihat pada hari ke 13 memiliki nilai COD yang lebih besar dibandingkan waktu pertama kali filtrat keluar dari reaktor. Hal ini bisa terjadi karena media filter pasir semakin lama mengalami penyumbatan. Pada reaktor dengan ketebalan 20 cm memiliki nilai COD yang paling besar dan ketebalan 40 cm memiliki nilai COD yang paling kecil. Hal ini bisa terjadi karena pada reaktor dengan ketebalan 40 cm kemungkinan tumbuh *biofilm*, sehingga nilai COD yang dihasilkan kecil, karena *biofilm* berperan membantu menyisihkan konsentrasi COD pada

lumpur. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat grafik akumulasi massa bahan organik yang ada pada masing-masing reaktor. Nilai massa COD dapat diketahui dengan cara mengkalikan nilai konsentrasi COD filtrat yang telah didapatkan dengan volume filtrat yang dkeluar dari masing-masing reaktor pada setiap harinya. Sehingga dapat diketahui nilai massa COD pada setiap harinya.



Gambar 4.5 Akumulasi Massa COD

Dari Gambar 4.5 juga dapat dilihat bahwa reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm memiliki massa bahan organik yang paling besar, hal ini dapat menyebabkan adanya penyumbatan pada pori-pori media filter yang dapat mengurangi kemampuan media filter dalam meremoval konsentrasi COD.



Gambar 4. 6 Normalisasi Akumulasi Massa COD

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai akumulasi massa COD paling besar pada akhir penelitian yaitu pada reaktor K40. Dari Gambar 4.5 pada hari ke 5, 9, dan 11 akumulasi massa COD sudah mulai stabil dengan akumulasi massa kurang dari 1% untuk masing-masing reaktor dengan ketebalan lumpur 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Sehingga dapat dikatakan bahwa hari ke 5, 9, dan 11 massa COD sudah efektif.

4.2.5 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi TS Filtrat

Pada penelitian ini, *Total Solids* merupakan parameter utama. Analisis *Total Solids* dilakukan setiap hari dengan tujuan menentukan besarnya penurunan konsentrasi padatan baik terlarut maupun yang tersuspensi setelah melewati media filter. Pengeringan lumpur mengacu pada pembuangan air dari lumpur untuk penanganan dan penggunaan kembali yang lebih baik. Hal ini biasa dinilai dengan mengukur konsentrasi TS. Total padatan adalah salah satu dari parameter desain utama untuk instalasi

pengolahan lumpur. Di daerah tropis, persentase TS untuk mencapai kering adalah 30% (Kengne et al., 2009). Pada Tabel 4.7 dapat dilihat hasil analisis TS Filtrat.

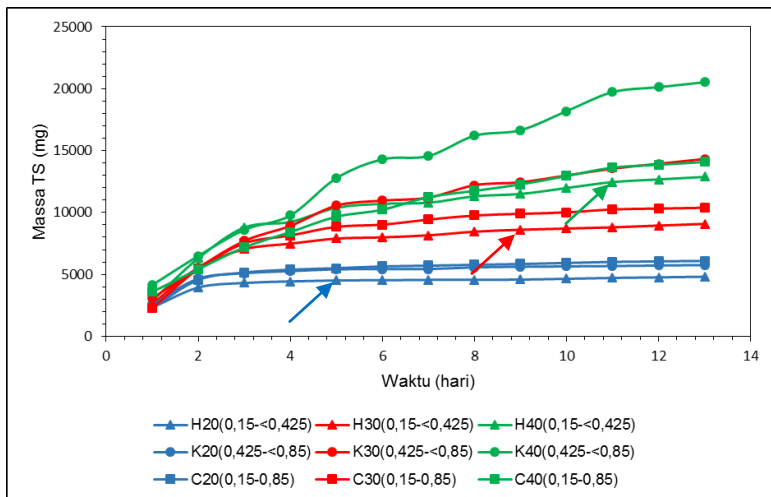
Tabel 4.7 Hasil Analisis TS Filtrat

Variabel	Konsentrasi (mg/L)						
	1	2	3	4	5	6	7
H20(0,15-<0,425)	460	510	830	970	1140	1130	1730
H30(0,15-<0,425)	480	740	980	1180	1210	960	1110
H40(0,15-<0,425)	510	710	970	990	1250	920	190
K20(0,425-<0,85)	470	510	1020	1230	1140	990	340
K30(0,425-<0,85)	690	830	870	1240	1670	920	410
K40(0,425-<0,85)	870	810	670	1060	1690	1190	280
C20(0,15-0,85)	570	660	910	1140	1500	1940	770
C30(0,15-0,85)	490	810	930	1010	1180	950	1850
C40(0,15-0,85)	660	430	680	1010	990	1040	1790

Lanjutan Tabel 4.7.

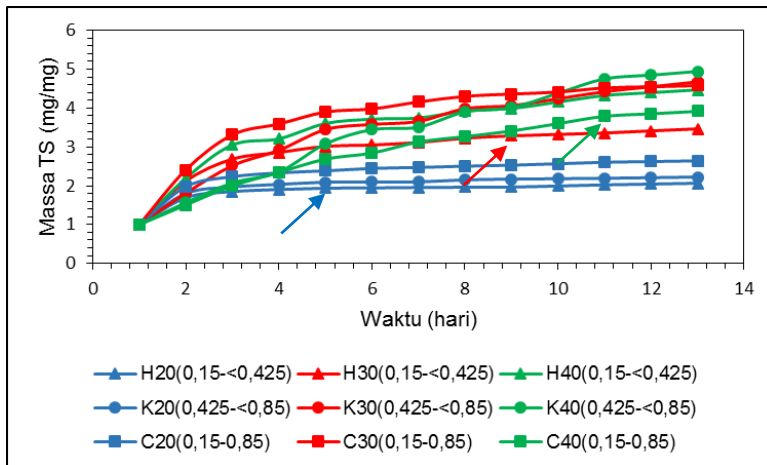
Variabel	Konsentrasi (mg/L)					
	8	9	10	11	12	13
H20(0,15-<0,425)	3340	1280	2700	2700	4800	4800
H30(0,15-<0,425)	2440	1110	6500	6500	5600	5600
H40(0,15-<0,425)	2100	980	4000	4000	2800	2800
K20(0,425-<0,85)	3380	1230	5900	5900	4000	4000
K30(0,425-<0,85)	3460	1200	4400	4400	4600	4600
K40(0,425-<0,85)	1880	850	5800	5800	2500	2500
C20(0,15-0,85)	1840	1500	5800	5800	4100	4100
C30(0,15-0,85)	2730	1120	4700	9700	3300	3300
C40(0,15-0,85)	1680	1750	5200	5200	2100	2100

Pada Tabel 4.7 dapat dilihat pada tabel bahwa konsentrasi TS pada awal filtrat keluar semakin meningkat, hal ini mungkin terjadi karena kemampuan media filter dalam meremoval TS semakin menurun karena adanya penyumbatan oleh bahan organik. Koottatep dan Surinkul (2004), menggambarkan bahwa kurang lebih 12% dari total padatan keluar pada filtrat dan kurang lebih 88% terakumulasi pada lumpur. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat hasil akumulasi massa TS.



Gambar 4.7 Akumulasi Massa TS

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa reaktor dengan ketebalan 40 cm dan ukuran media 0,425-<0,85 mm menunjukkan nilai akumulasi massa yang lebih besar dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena laju filtrasi pasir dengan ukuran media 0,425-<0,85 paling besar, sehingga kemampuan removalnya lebih kecil. Dari gambar 4.6 juga terlihat bahwa reaktor K30 dan C40 mengalami perpotongan dan berhimpitan, hal ini menunjukkan bahwa pada reaktor tersebut memiliki tingkat efektifitas dan beban massa organik yang hampir sama.



Gambar 4.8 Normalisasi Akumulasi Massa TS

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa reaktor K40 memiliki nilai akumulasi massa TS yang paling besar di akhir penelitian. Akumulasi massa TS filtrat pada reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm mulai stabil pada hari ke 5, untuk reaktor dengan ketebalan lumpur awal 30 cm mulai stabil hari ke 9, dan ketebalan 40 cm mulai stabil pada hari ke 11. Penentuan stabil tidaknya massa TS filtrat yaitu ketika akumulasi massa TS filtrat kurang dari 1%. Adanya perbedaan akumulasi massa filtrat pada setiap reaktor dapat terjadi karena adanya perbedaan antara bahan organik yang terlarut dan yang tersuspensi.

4.2.6 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi TSS Filtrat

Pada penelitian ini, *Total Suspended Solids* merupakan parameter utama. Analisis *Total Suspended Solids* dilakukan setiap hari dengan tujuan mengetahui besarnya kemampuan

media filter dalam meremoval padatan tersuspensi. Hasil pengukuran TSS disajikan pada Tabel 4.8.

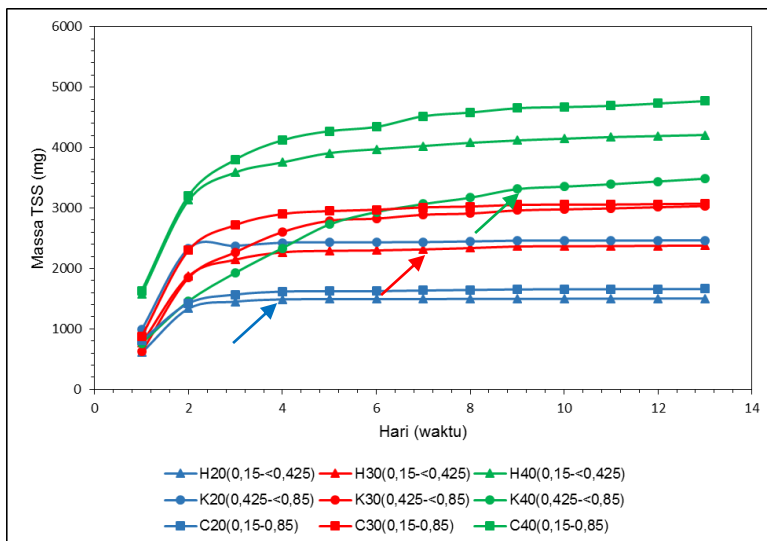
Tabel 4. 8 Hasil Analisis TSS Filtrat

Variabel	Konsentrasi (mg/L)						
	1	2	3	4	5	6	7
H20(0,15-<0,425)	120	230	260	290	40	80	100
H30(0,15-<0,425)	140	280	180	320	70	70	110
H40(0,15-<0,425)	280	320	180	360	170	180	120
K20(0,425-<0,85)	180	330	100	380	40	70	160
K30(0,425-<0,85)	140	410	170	340	190	80	110
K40(0,425-<0,85)	160	240	150	370	220	160	140
C20(0,15-0,85)	200	180	220	250	50	40	140
C30(0,15-0,85)	190	360	190	290	80	120	180
C40(0,15-0,85)	300	370	230	260	120	130	310

Lanjutan Tabel 4.8.

Variabel	Konsentrasi (mg/L)					
	8	9	10	11	12	13
H20(0,15-<0,425)	300	120	90	90	90	90
H30(0,15-<0,425)	180	200	190	190	180	180
H40(0,15-<0,425)	210	210	230	230	230	230
K20(0,425-<0,85)	300	320	260	260	30	30
K30(0,425-<0,85)	70	260	130	130	230	230
K40(0,425-<0,85)	120	270	150	150	290	290
C20(0,15-0,85)	230	230	140	140	140	140
C30(0,15-0,85)	110	230	110	110	340	340
C40(0,15-0,85)	200	240	150	150	360	360

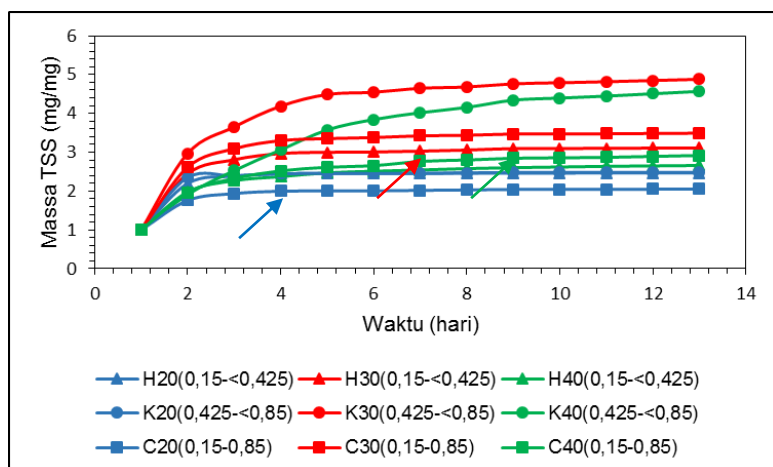
Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa hasil TSS filtrat dengan ketebalan lumpur 40 cm lebih tinggi dibandingkan dengan ketebalan 20 cm dan 30 cm. Hal ini dapat terjadi karena media filter pada reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm memiliki beban filtrasi lebih banyak dibandingkan ketebalan 20 cm dan 30, sehingga media filter lebih cepat untuk jenuh dan mengalami *clogging*. Selain itu, persentase filtrasi pada reaktor dengan ketebalan 20 cm lebih besar dari reaktor dengan ketebalan 30 cm dan 40 cm, dapat dikatakan bahwa tidak terjadi clogging pada reaktor dengan ketebalan 20 cm sehingga memiliki nilai TSS yang lebih kecil dibandingkan dengan reaktor dengan ketebalan lumpur 30 cm dan 40 cm yang memiliki nilai TSS lebih besar. Akumulasi massa setiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Akumulasi Massa TSS

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa reaktor dengan ketebalan 40 cm menunjukkan nilai akumulasi massa yang lebih besar dibandingkan dengan ketebalan 20 cm dan 30 cm. Hal ini

dapat terjadi karena beban permukaan pada reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm lebih besar, sehingga massa lumpur yang akan tertinggal akan semakin besar pula. Dari gambar 4.7 juga terlihat bahwa reaktor K30 dan K40 mengalami perpotongan dan berhimpitan, hal ini menjelaskan bahwa pada reaktor dengan ukuran media $0,425 < 0,85$ dengan ketebalan lumpur 40 cm, memiliki tingkat efektifitas dan beban massa organik yang hampir sama. Namun pada reaktor K30 memiliki tingkat stabilitas yang lebih tinggi dari reaktor K40 karena memiliki nilai akumulasi masa yang cenderung meningkat.

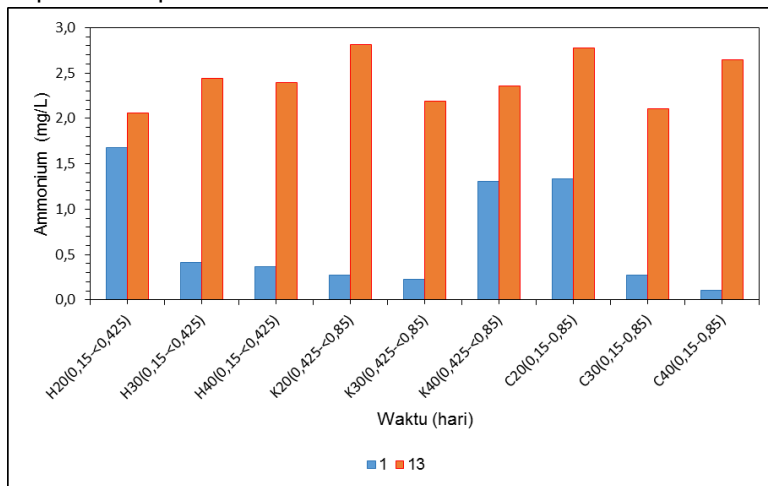


Gambar 4.10 Normalisasi Akumulasi Massa TSS

Adanya perbedaan akumulasi massa filtrat pada setiap reaktor dapat terjadi karena adanya perbedaan antara bahan organik yang terlarut dan yang tersuspensi. Akumulasi massa filtrat dikatakan stabil ketika akumulasi kurang dari 1%. Akumulasi massa TSS filtrat pada reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm mulai stabil pada hari ke 4, untuk reaktor dengan ketebalan lumpur awal 30 cm mulai stabil hari ke 7, dan ketebalan 40 cm mulai stabil pada hari ke 9.

4.2.7 Pengaruh Ukuran Media Pasir dan Ketebalan Lumpur terhadap Konsentrasi Amonium pada Filtrat

Pada penelitian ini, dilakukan analisis amonium pada awal dan akhir penelitian yaitu pada hari ke 1 dan hari ke 13. Tujuan dari analisis ammonium pada filtrat adalah untuk mengetahui besarnya konsentrasi ammonium-notrogen pada proses filtrasi lumpur, yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.11 Hasil Analisis Amonium

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa konsentrasi ammonium pada awal dan akhir filtrat mengalami kenaikan, hal tersebut dapat terjadi karena adanya pengaruh penyumbatan media filter sehingga konsentrasi amonium meningkat. Pada gambar menunjukkan bahwa konsentrasi amonium paling besar yaitu pada reaktor K20, hal ini dapat terjadi kemungkinan ammonia yang dikandung pada reaktor K20 lebih banyak terlarut sehingga dapat terukur dengan metode ammonium, sedangkan amonium yang tersuspensi akan tertinggal di media berpori.

Pada Tabel 4.9 dapat dilihat hasil persentase akhir removal amonium pada masing-masing reaktor. Dari kesembilan

reaktor, persentase removal amonium yang paling besar adalah reaktor H20 dengan nilai removal sebesar 96,47%. Sehingga dapat dikatakan bahwa reaktor H20 atau reaktor dengan ukuran media 0,15-<0,425 mm dengan ketebalan lumpur 20 cm memiliki kemampuan yang paling besar dalam meremoval konsentrasi amonium.

Tabel 4.9 Persentase Removal Amonium

Variabel	Removal (%)
H20(0,15-<0,425)	96,47
H30(0,15-<0,425)	95,83
H40(0,15-<0,425)	95,90
K20(0,425-<0,85)	95,18
K30(0,425-<0,85)	96,26
K40(0,425-<0,85)	95,97
C20(0,15-0,85)	95,25
C30(0,15-0,85)	96,40
C40(0,15-0,85)	95,47

4.2.8 Hasil Analisis Total Coliform

Total coliform diukur diawal dan diakhir dari penelitian yaitu pada lumpur awal dan filtrat. Hal ini untuk menunjukkan seberapa besar unit SDB mampu menyisihkan total coliform. Bakteri total coliform diindikasikan sebagai indikator suatu lingkungan terkontaminasi oleh tinja (Feachem *et al.*, 1983).

Coliform adalah keseluruhan bakteri dengan bentuk dan struktur yang menyerupai *E.coli* yang ditemukan didalam usus besar mamalia atau hewan berdarah panas yang membantu dalam proses pencernaan makanan. Adanya coliform digunakan sebagai indikator pencemaran tinja dalam analisis kualitas air. Keberadaan

coliform dalam air dapat menunjukkan adanya pencemaran disebabkan oleh mikroorganisme patogen penyebab penyakit.

Total coliform dilakukan pada air limbah sebelum dilewatkan saringan pasir lambat dan setelah tumbuh lapisan *schmutzdecke* pada lapisan atas media filter. Beberapa literatur menyebutkan bahwa untuk analisa total coliform dilakukan setelah beberapa minggu atau kurang lebih 40 hari pengoperasian saringan pasir lambat, yaitu setelah tumbuh lapisan *schmutzdecke*.

Penurunan kandungan coliform ini disebabkan oleh bakteri didalam lapisan *schmutzdecke* yang dapat mengkonsumsi bakteri patogen seperti coliform yang merupakan *food-chain*. Disamping itu juga terjadi proses adsorpsi, yang mana bakteri yang bermuatan negatif akan diikat oleh butiran media pasir yang bermuatan positif, sehingga bakteri *E.Coli* yang terdapat dalam air limbah industri dapat tereduksi. (Soeprijanto *et al.*, 2010). Berikut Tabel 4.10 hasil pengukuran Total Coliform awal dan akhir.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Total Coliform Filtrat

Variabel	Jumlah Total Coliform (MPN/100mL)	
	Awal	Akhir
H20(0,15-<0,425)	24x10 ²	22x10 ²
H30(0,15-<0,425)	24x10 ²	23x10 ²
H40(0,15-<0,425)	38x10 ²	3x10 ³
K20(0,425-<0,85)	27x10 ²	24x10 ²
K30(0,425-<0,85)	2x10 ²	3x10 ³
K40(0,425-<0,85)	22x10 ²	32x10 ²
C20(0,15-0,85)	36x10 ²	32x10 ²
C30(0,15-0,85)	23x10 ²	3x10 ³
C40(0,15-0,85)	2x10 ²	28x10 ²

Tabel 4.11 Persentase Removal Total Coliform

Variabel	Removal (%)
H20(0,15-<0,425)	94,5
H30(0,15-<0,425)	94,3
H40(0,15-<0,425)	92,5
K20(0,425-<0,85)	94,0
K30(0,425-<0,85)	92,5
K40(0,425-<0,85)	92,0
C20(0,15-0,85)	92,0
C30(0,15-0,85)	92,5
C40(0,15-0,85)	93,0

Dari Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa hasil removal total coliform yang paling tinggi adalah reaktor dengan ukuran diameter pasir 0,15-<0,425 mm dan ketebalan lumpur 20 cm dengan jumlah coliform pada filtrat adalah 2200 MPN/100mL dan besar removal 94,5% dengan jumlah total coliform awal adalah 40.000 MPN/100mL.

4.2.9 Hasil Analisis BOD₅ Filtrat

Analisis BOD₅ pada filtrat bertujuan untuk menentukan tingkat *biodegradable* dari lumpur. BOD₅ disisihkan oleh biofilm yang tumbuh di dalam media filter. Pembentukan biofilm dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kelembaban permukaan, permukaan yang ditemplei, ikatan ion, dan makanan yang tersedia (Tung, 2003). Berikut Tabel 4.12 hasil pengukuran BOD₅ awal dan akhir.

Tabel 4.12 Hasil Pengukuran BOD₅ Filtrat Awal dan Akhir

Variabel	Konsentrasi (mg/L)	
	Awal	Akhir
H20(0,15-<0,425)	7.33	67.25
H30(0,15-<0,425)	20.27	79.47
H40(0,15-<0,425)	12.35	69.89
K20(0,425-<0,85)	18.02	72.67
K30(0,425-<0,85)	33.78	88.77
K40(0,425-<0,85)	17.48	94.41
C20(0,15-0,85)	18.02	73.86
C30(0,15-0,85)	21.33	69.06
C40(0,15-0,85)	13.51	79.55

Tabel 4. 13 Persentase Removal BOD₅

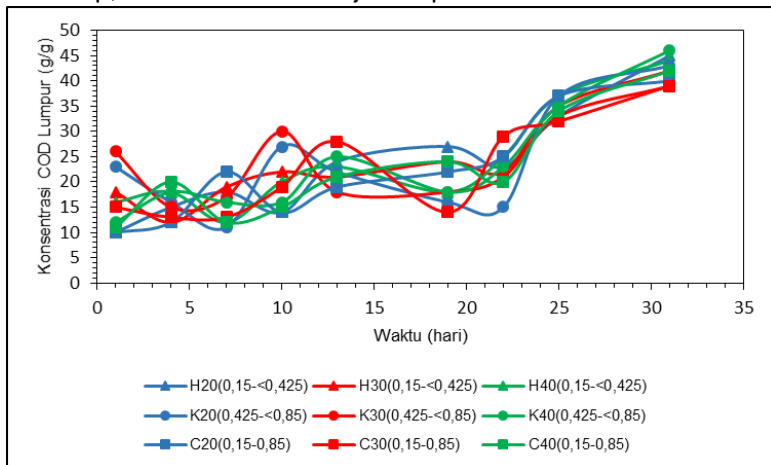
Variabel	Removal (%)
H20(0,15-<0,425)	97.32%
H30(0,15-<0,425)	96.83%
H40(0,15-<0,425)	97.22%
K20(0,425-<0,85)	97.11%
K30(0,425-<0,85)	96.46%
K40(0,425-<0,85)	96.24%
C20(0,15-0,85)	97.06%
C30(0,15-0,85)	97.25%
C40(0,15-0,85)	96.83%

Pada Tabel 4.13, dapat dilihat persentase removal yang paling besar dengan konsentrasi awal BOD₅ yang masuk adalah 2510,8 adalah reaktor dengan ukuran media 0,15-<0,425 mm dan

ketebalan lumpur 20 cm dengan hasil 97,3% . Pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai BOD₅ di akhir penelitian, hal ini menunjukkan bahwa biofilm di dalam media filter sudah tidak memiliki kemampuan removal yang baik. Menurut Brault dan Monod (1991), penyumbatan pada celah-celah media pasir mengakibatkan terjadinya kondisi anaerob pada permukaan pasir, sehingga bakteri pada biofilm akan mati. Biofilm yang mati akan terbawa ke aliran menuju *underdrain* sehingga filtrat kembali terkontaminasi oleh bahan organik yang seharusnya tertahan di media filter (Fakhrana *et al.*, 2017).

4.2.10 Hasil Analisis COD Lumpur

Pada penelitian ini dilakukan analisis COD pada lumpur setiap 3 hari sekali. Pada Gambar 4.9 dapat dilihat hasil analisis konsentrasi COD yang ada pada lumpur. Menurut Badji *et al.*, (2011), bahan organik terlarut, nutrisi, dan partikel yang tersuspensi pada proses pengolahan lumpur akan tetap berada dalam supernatan. Seperti 50% COD influen dalam lumpur akan menetap, dan 50% akan menjadi supernatan.

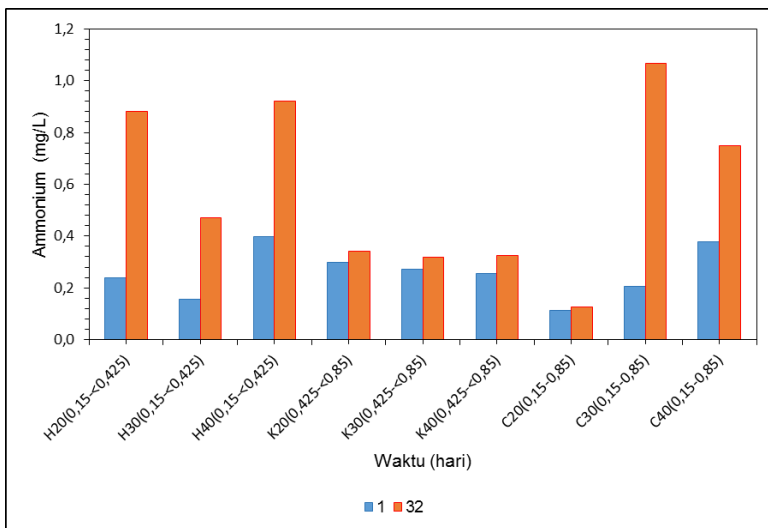


Gambar 4.12 Hasil Analisis COD Lumpur

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan konsentrasi COD di akhir penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengeringan, akan menyebabkan peningkatan konsentrasi COD pada lumpur tersebut karena lumpur yang ada dalam setiap reaktor akan mengalami peningkatan kepekatan.

4.2.11 Hasil Analisis Amonium Lumpur

Pada penelitian ini dilakukan analisis amonium lumpur pada awal dan akhir penelitian. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar amonium pada lumpur setelah proses pengeringan. Pada Gambar 4.12 dapat dilihat hasil dari analisis amonium.



Gambar 4. 13 Hasil Analisis Amonium Lumpur

Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa konsentrasi amonium pada lumpur meningkat pada akhir penelitian. Amonium pada lumpur merupakan bahan anorganik, sehingga dengan

adanya kenaikan konsentrasi maka amonium semakin mudah untuk terdegradasi dan akan bermanfaat untuk meningkatkan nilai N pada tanah.

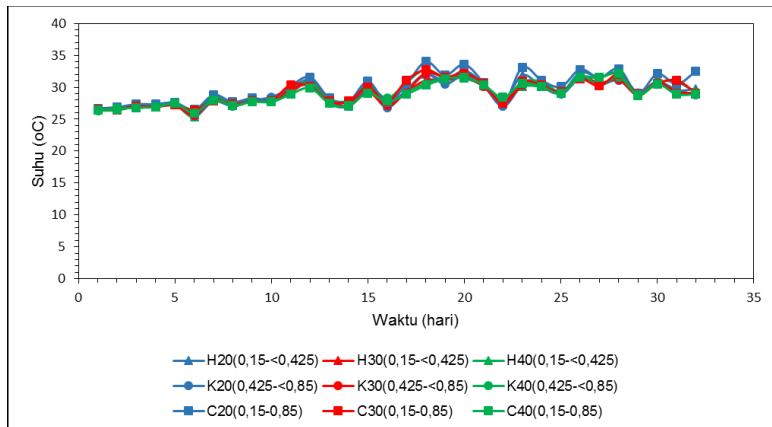
Dari hasil analisis parameter filtrat dan lumpur yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa pada akhir penelitian, konsentrasi setiap parameter semakin meningkat. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin lama waktu pengeringan lumpur IPAL biologis, maka semakin pekat lumpur yang ada di dalam reaktor sehingga konsentrasinya akan meningkat karena terjadi akumulasi. Pada analisis filtrat juga semakin meningkat, hal ini bisa terjadi karena semakin lama waktu pengeringan maka kemampuan media filter akan berkurang karena semakin jenuh, sehingga konsentrasi setiap parameter juga akan meningkat.

4.2.12 Massa Cake

Proses pengeringan didasarkan pada dua prinsip. Prinsip pertama adalah perkolasi, proses ini signifikan dengan lumpur yang mengandung volume air yang besar sehingga proses perkolasi berjalan relatif cepat, mulai dari jam ke hari (Heinss *et al.*, 1998). Proses kedua, penguapan, menghilangkan fraksi air terikat dan proses ini biasanya berlangsung selama beberapa hari hingga minggu. Menurut Heinss *et al.* (1998), penurunan volume filtrat 50 hingga 80% melalui pipa drain, dan 20 hingga 50% mengalami terkandung dalam lumpur dan akan mengalami penguapan. Pada Gambar 4.14 dapat dilihat massa *cake* setiap harinya pada saat penelitian berlangsung.

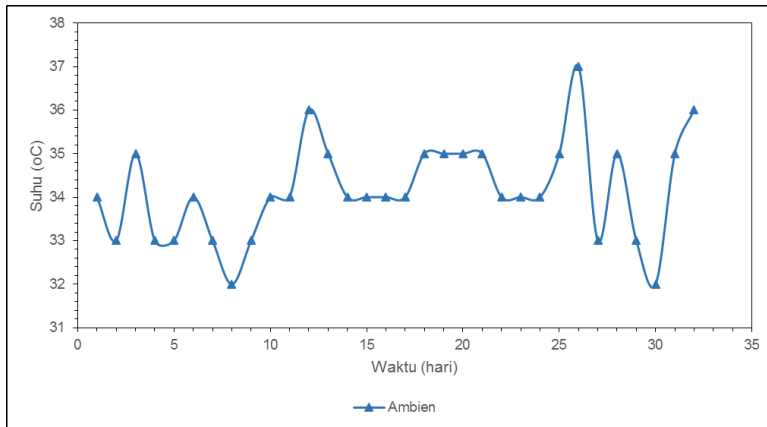
4.2.13 Hasil Perubahan Suhu lumpur dan Ambien

Pengukuran suhu ambien dan lumpur merupakan parameter tambahan. Dilakukan pengukuran suhu lumpur bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu ambien dan lumpur dalam proses pengeringan. Pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 dapat dilihat hasil pengukuran suhu ambien dan lumpur selama penelitian berlangsung. Penguapan bebas pada permukaan lumpur tergantung pada suhu udara ambien yang ada, semakin tinggi lumpur suhu udara ambien, akan membantu mempercepat proses penguapan. Selain itu suhu lumpur yang lebih tinggi, dengan kombinasi kelembaban yang relatif rendah akan meningkatkan jumlah total air yang dihilangkan melalui penguapan (Strande et al.,2014).



Gambar 4. 15 Hasil Pengukuran Suhu Lumpur

Dari Gambar 4.15 terlihat pola yang sangat fluktuatif dari hasil pengukuran suhu lumpur selama penelitian, yaitu 30 hari. Selama penelitian berlangsung, suhu lumpur mengalami suhu yang naik turun tidak stabil yang mengikuti suhu ambien yang ada pada lingkungan sekitar tempat penelitian. Suhu ambien dapat dilihat pada Gambar 4.16.



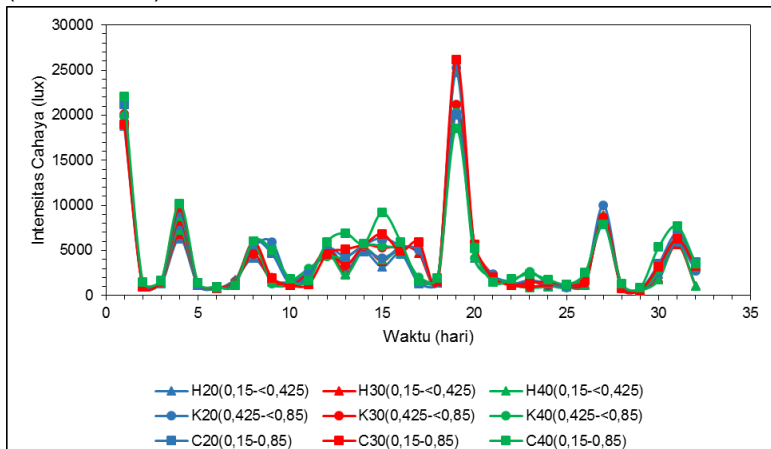
Gambar 4. 16 Hasil Pengukuran Suhu Ambien

Dari Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa suhu ambien dan suhu lumpur sangatlah fluktuatif, sehingga proses evaporasi setiap harinya berbeda-beda. Pada hari ke 26 suhu ambien sangat tinggi, suhu yang ada pada lumpur juga sangat tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 4.16, bahwa pada hari ke 26 memiliki persentase penurunan kadar air yang cukup besar pula. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu ambien dan suhu lumpur, maka tingkat penurunan kadar air lumpur juga semakin tinggi.

4.2.14 Hasil Perubahan Intensitas Cahaya

Pada penelitian ini, pengukuran intensitas cahaya merupakan parameter tambahan. Pengukuran dilakukan pada waktu yang sama setiap harinya yaitu pada pukul 15.00 WIB. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan intensitas cahaya pada proses pengeringan lumpur, karena intensitas cahaya merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pengeringan lumpur. Proses pengeringan dengan menggunakan sinar matahari merupakan cara pengeringan yang alami. Namun dengan cuaca dan iklim Indonesia dimana hujan

tidak menentu, menjadikan proses pengeringan kurang efektif (Catur, 1991).



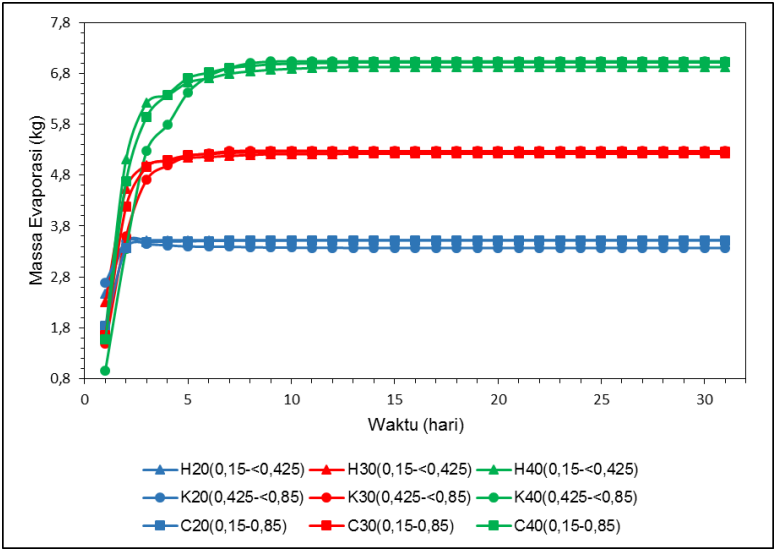
Gambar 4.17 Hasil Pengukuran Intensitas Cahaya

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa intensitas cahaya paling tinggi yaitu pada hari ke 19, namun jika dibandingkan dengan pengukuran suhu pada hari ke 19 tidak terlalu tinggi. Penurunan kadar air pada hari ke 19 juga tidak terlalu besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari tidak berpengaruh besar pada penurunan persentase kadar air lumpur.

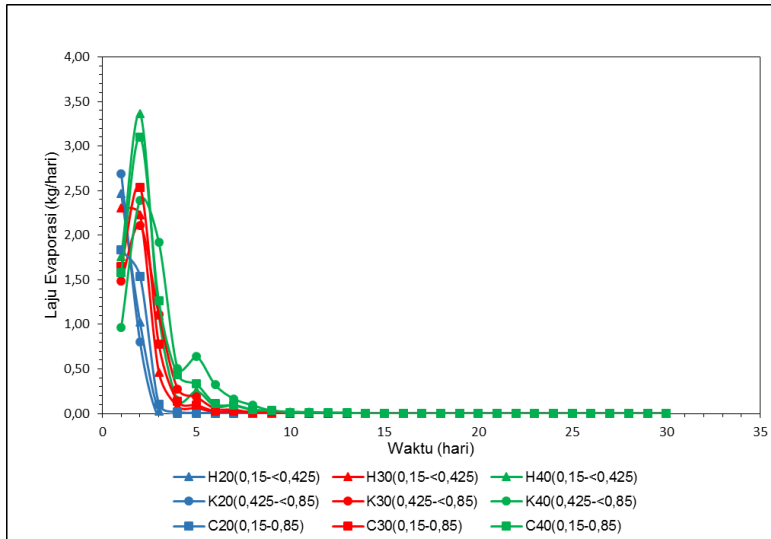
4.2.15 Massa Evaporasi

Penguapan terjadi ketika air dilepaskan ke dalam air sebagai uap. Energi yang diperlukan untuk penguapan terjadi disediakan oleh energi matahari, sehingga penguapan sangat dipengaruhi oleh iklim, dan panas serta kelembaban yang tersedia. Permukaan dari tempat evaporasi juga bisa mempengaruhi tingkat penguapan (Musy dan Higy, 2004). Parameter penting adalah kedalaman dan total area dari alas pengeringan. Semakin besar total massa suatu benda, semakin banyak energi yang dapat

disimpan untuk meningkatkan kebutuhan panas. Kecepatan angin juga berpengaruh pada tingkat penguapan, karena dapat meningkatkan penggantian air jenuh dengan air kering. Menurut Heinss *et al.* (1998), 20 hingga 50% air yang terkandung dalam lumpur dan akan mengalami penguapan. Pada Gambar 4.18 dapat dilihat akumulasi massa evaporasi selama penelitian berlangsung. Pada awal penelitian terjadi evaporasi yang sangat tinggi, hal ini bisa terjadi karena proses fitrasi yang terjadi juga sangat tinggi, sehingga evaporasi yang terjadi juga relatif tinggi.



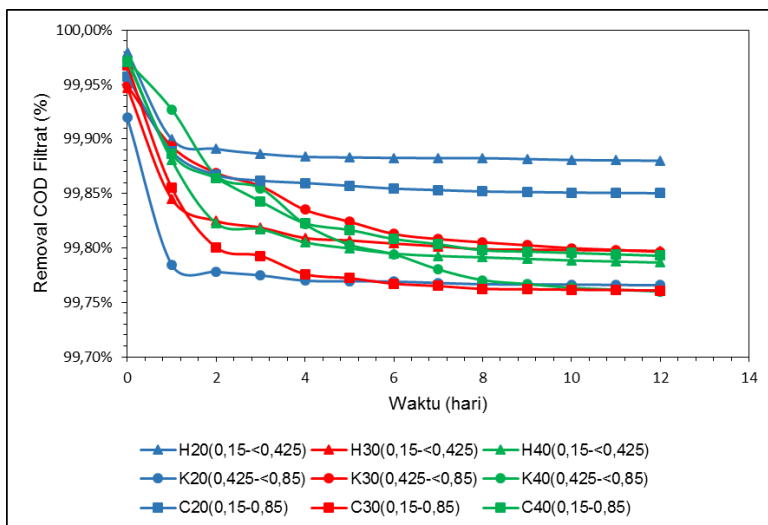
Gambar 4.18 Massa Evaporasi



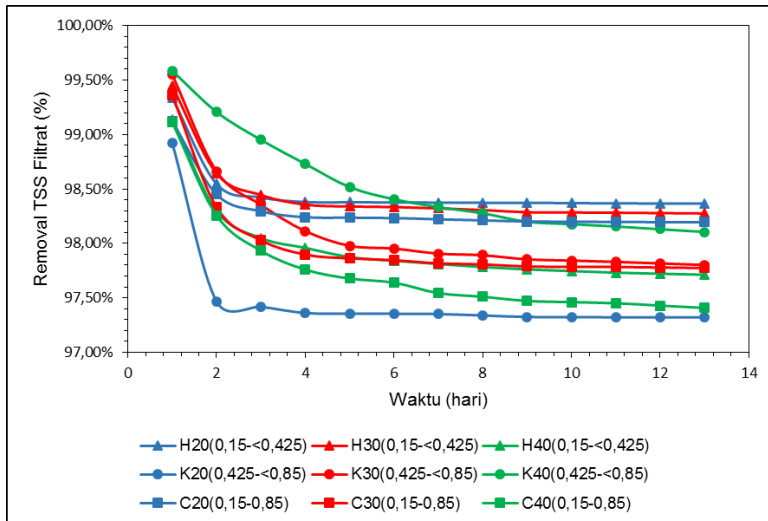
Gambar 4. 19 Laju Evaporasi Setiap Harinya

4.2.16 Removal Filtrat

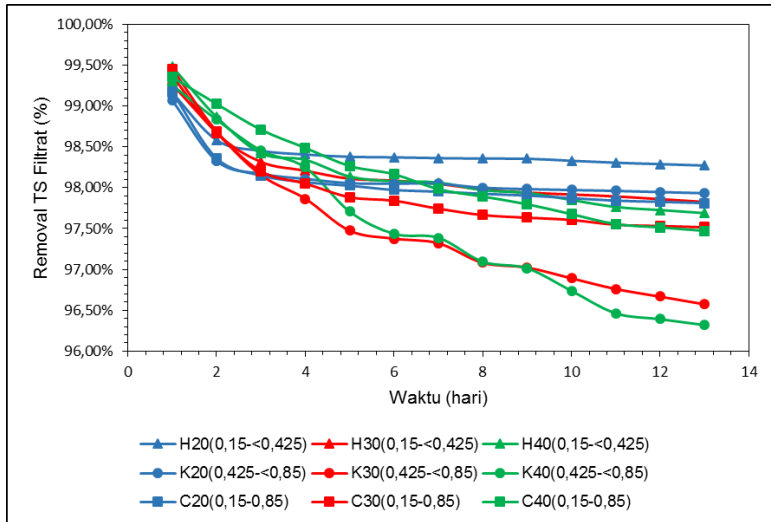
Perhitungan removal dari setiap filtrat dibutuhkan untuk mengetahui tingkat efisiensi dari masing-masing reaktor dalam meremoval konsentrasi COD, TS, dan TSS. Sehingga dapat dibandingkan dengan baku mutu efluen air limbah menurut PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN Nomor: P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik untuk parameter COD, TS, dan TSS. Pada Gambar 4.20 hingga Gambar 4.22 dapat dilihat besarnya removal tiap reaktor.



Gambar 4.20 Persentase Removal COD Filtrat



Gambar 4.21 Persentase Removal TSS Filtrat



Gambar 4.22 Persentase Removal TS Filtrat

Dari Gambar 4.18 hingga Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa reaktor H20 memiliki persentase removal paling besar pada ketiga konsentrasi COD, TS, dan TSS. Hal tersebut menunjukkan bahwa untuk hasil filtrat untuk parameter COD, TS, dan TSS reaktor dengan ketebalan lumpur 20 cm dan ukuran media 0,15-<0,425 mm memiliki removal paling besar seperti pada Tabel 4.11

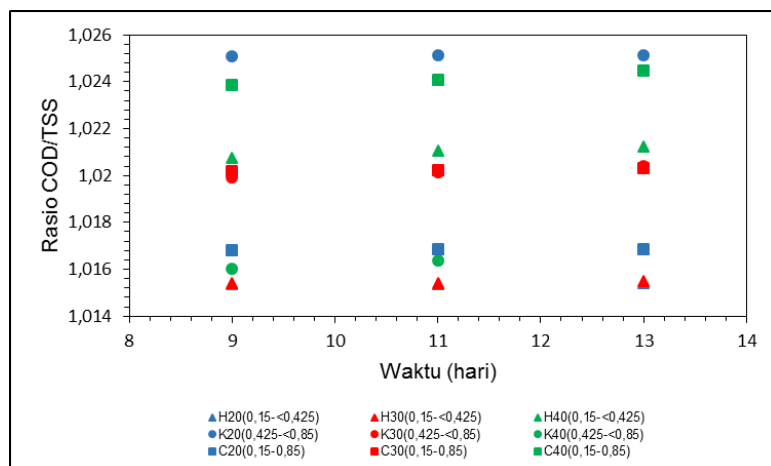
Tabel 4. 14 Persentase Removal Akhir Filtrat

Variabel	Persentase Removal Akhir (%)		
	COD	TS	TSS
H20(0,15-<0,425)	99,88	98,27	98,37
H30(0,15-<0,425)	99,80	97,83	98,28
H40(0,15-<0,425)	99,79	97,69	97,71
K20(0,425-<0,85)	99,77	97,93	97,32

Variabel	Persentase Removal Akhir (%)		
	COD	TS	TSS
K30(0,425-<0,85)	99,80	96,57	97,80
K40(0,425-<0,85)	99,76	96,32	98,11
C20(0,15-0,85)	99,85	97,81	98,19
C30(0,15-0,85)	99,76	97,52	97,77
C40(0,15-0,85)	99,79	97,47	97,41

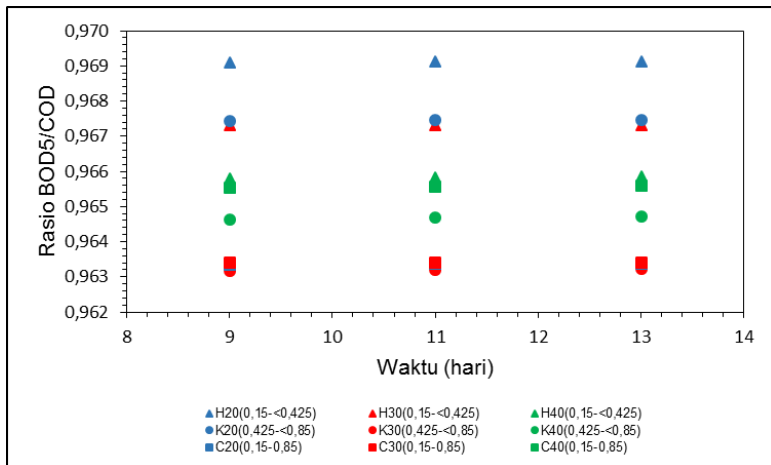
Dari Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa reaktor H20 memiliki persentase removal yang paling besar dibandingkan dengan reaktor yang lain. Hal tersebut menunjukkan bahwa reaktor H20 memiliki kombinasi ukuran media filter dan ketebalan lumpur yang paling optimum dalam meremoval COD, TS, dan TSS dalam proses pengeringan lumpur IPAL biologis dengan hasil analisis akhir yaitu COD 130 mg/L, TS 4800 mg/L, dan TS 90 mg/L.

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat rasio perbandingan efisiensi COD dan TSS.



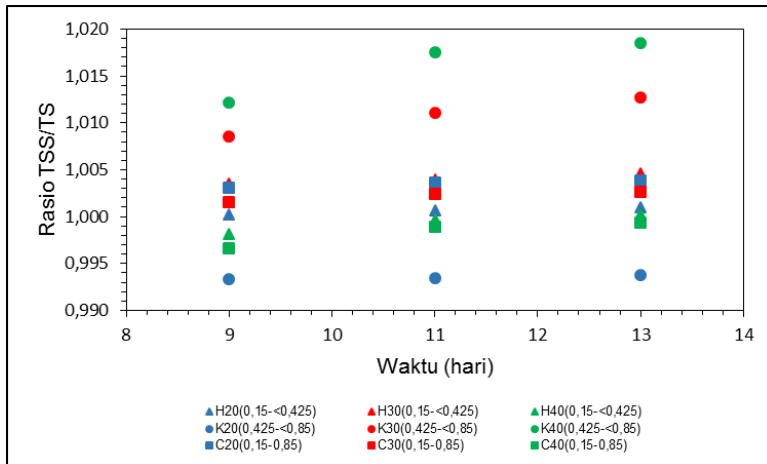
Gambar 4.23 Rasio COD/TSS

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat rasio COD/TSS bahwa nilai rasio cenderung naik, hal ini menunjukkan bahwa removal COD lebih besar dibandingkan removal TSS. Rasio COD/TSS naik menunjukkan bahwa nilai COD juga naik. Kenaikan nilai COD dapat terjadi karena kemungkinan terjadinya proses biologis yang dapat membantu penyisihan konsentrasi COD.



Gambar 4.24 Rasio BOD₅/COD

Dari Gambar 4.24 dapat dilihat rasio BOD₅/COD. Nilai rasio BOD₅/COD digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradasi dari filtrat yang keluar dari proses filtrasi. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa rasio BOD₅/COD memiliki nilai lebih besar dari 0,5 yaitu kurang lebih 0,96 yang menunjukkan bahwa filtrat yang keluar melalui underdrain lebih cenderung mengandung lebih banyak zat organik *biodegradable*.

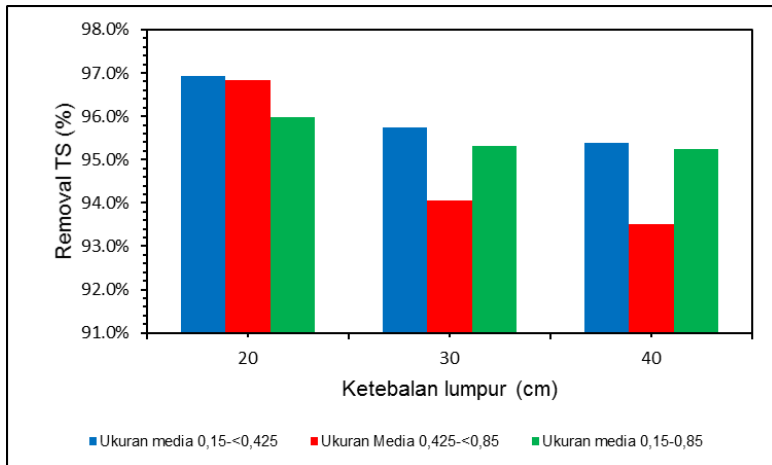


Gambar 4.25 Rasio TSS/TS

Pada Gambar 4.25 dapat dilihat nilai rasio TSS/TS, semakin meningkatnya nilai rasio TSS/TS menunjukkan bahwa konsentrasi TSS lebih tinggi dibandingkan TS. Sehingga dapat dikatakan bahwa lebih besar zat organik yang tersuspensi dibandingkan yang terlarut pada proses pengeringan lumpur IPAL biologis.

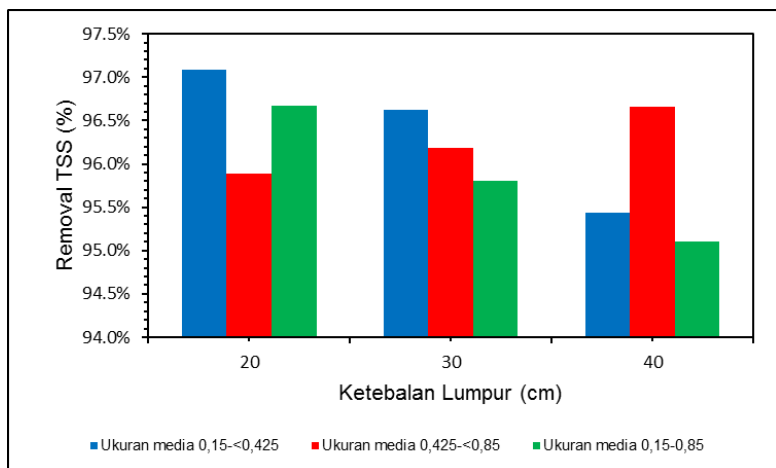
4.3 Pengaruh Perbedaan Ketebalan Lumpur terhadap penyisihan polutan pada unit SDB

Besarnya pengaruh ketebalan lumpur dalam menyisihkan polutan pada unit SDB dapat dilihat dari hubungan antar parameter. Pada Gambar 4.26-4.31 menunjukkan hubungan removal polutan yang dipengaruhi oleh ketebalan lumpur.

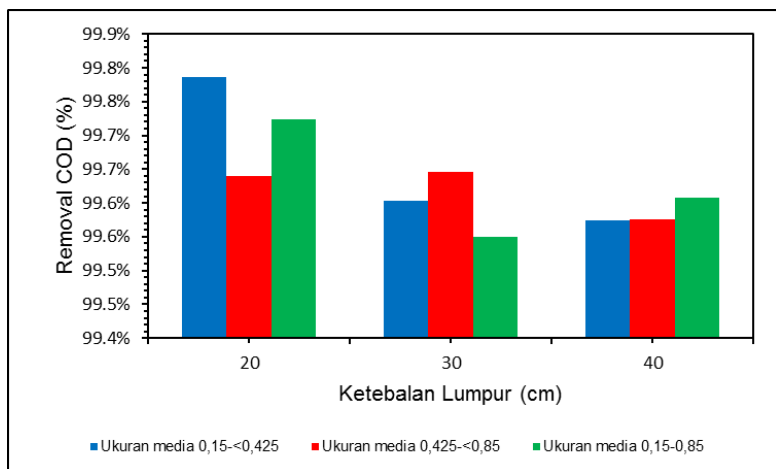


Gambar 4. 26 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap TS

Pada Gambar 4.26 menunjukkan bahwa ketebalan lumpur berpengaruh terhadap penyisihan TS. Semakin tebal lumpur efisiensi penyisihan semakin turun, hal ini menunjukkan bahwa tekanan lumpur menyebabkan polutan-polutan dapat membuat media filter menjadi lebih cepat jenuh. Sedangkan pada Gambar 4.27 penyisihan TSS menunjukkan bahwa lumpur yang paling tipis memiliki efisiensi terbesar. Hal ini menunjukkan semakin tipis lumpur semakin memudahkan media dalam mengalirkan filtrat dan media lebih lama untuk menjadi jenuh dibandingkan dengan media yang memiliki lumpur yang lebih tebal. Efisiensi penyisihan TSS sebanding terhadap ketebalan lumpur semakin tipis dan semakin tebal memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan terhadap ketebalan yang sedang. Namun pada ukuran media 0,425-0,85 mm berbanding terbalik dengan yang lainnya, hal ini dapat terjadi karena pada reaktor dengan ukuran media tersebut filtrat yang keluar pada ketebalan lumpur 20 cm lebih kecil persentase removalnya, karena banyak polutan yang lolos.



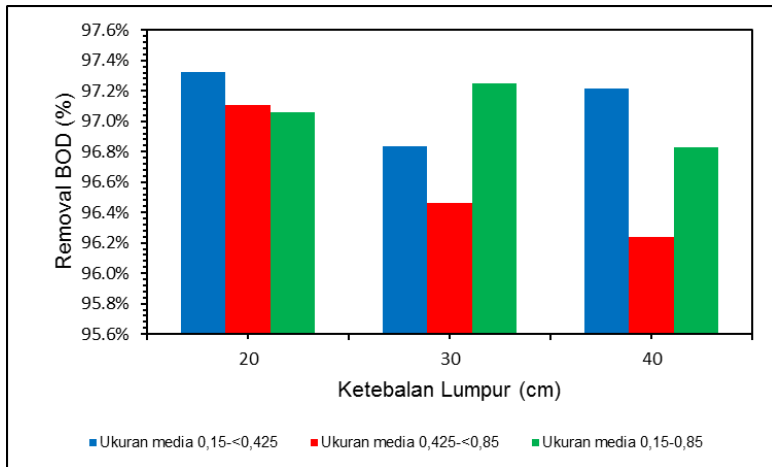
Gambar 4. 27 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap TSS



Gambar 4. 28 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap COD

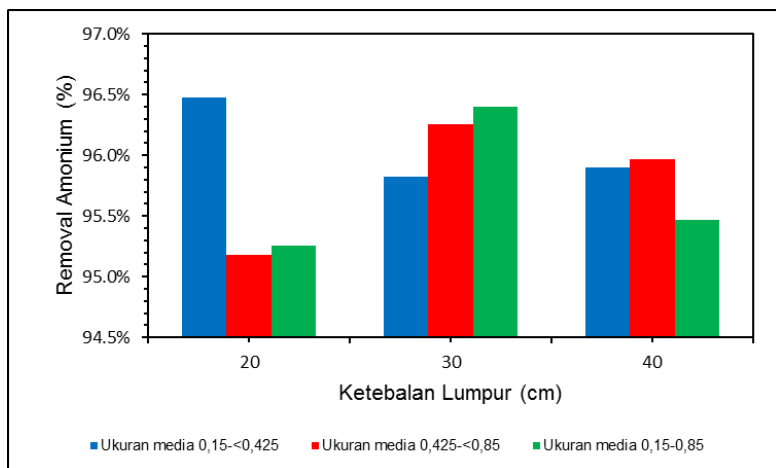
Hubungan antara ketebalan lumpur terhadap COD Gambar 4.28 menunjukkan saling berpengaruh. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan lumpur mempengaruhi besarnya penyisihan

bahan organik di dalam SDB, yang dibuktikan dengan terbentuknya pola yang sama antar ketebalan. Semakin tebal lumpur efisiensi penyisihan COD akan menurun.

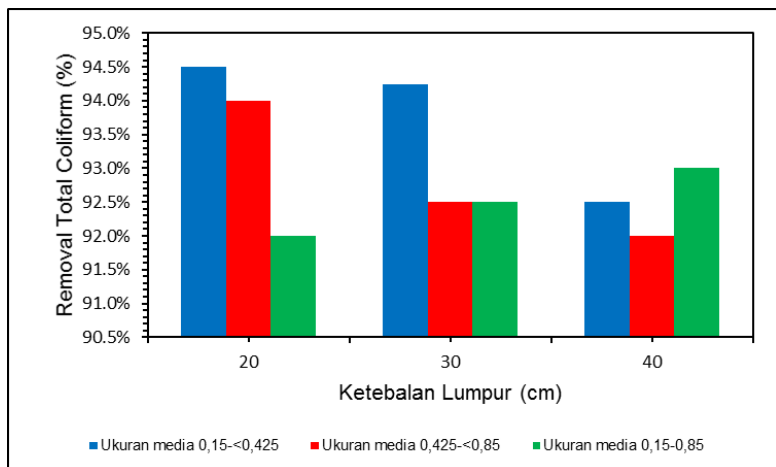


Gambar 4.29 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap BOD₅

Pada Gambar 4.29 terlihat bahwa terdapat pengaruh antara ketebalan lumpur terhadap penyisihan BOD₅ pada filtrat yang keluar dari *underdrain*. Sehingga adanya perbedaan ketebalan lumpur yang digunakan pada penelitian ini mempengaruhi konsentrasi BOD₅ yang ada pada filtrat. Dari Gambar 4.29 dapat terlihat bahwa reaktor dengan ukuran media 0,15-<0,425 mm dengan ketebalan lumpur 20 cm memiliki persentase removal paling tinggi dibandingkan dengan ukuran media yang lainnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa reaktor dengan ukuran media 0,15-<0,425 mm dan ketebalan lumpur 20 cm mampu menyisihkan BOD₅ paling baik dibandingkan yang lain.



Gambar 4.30 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap Amonium



Gambar 4.31 Hubungan Ketebalan Lumpur terhadap Total Coliform

Pada Gambar 4.30 dapat dilihat bahwa ketebalan lumpur tidak berpengaruh terhadap penyisihan konsentrasi amonium, hal tersebut dapat dilihat dari tidak teraturnya pola yang ada pada grafik, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi lumpur yang dimasukkan ke dalam reaktor tidak akan mempengaruhi besarnya konsentrasi amonium yang akan keluar melalui filtrat.

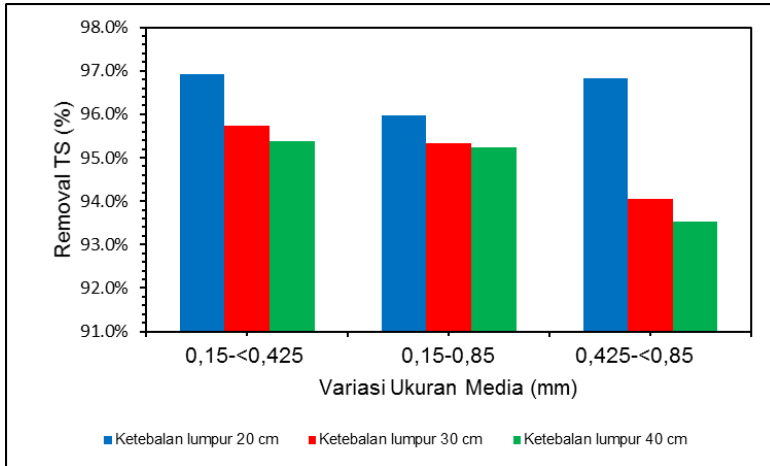
Pada Gambar 4.31 dapat dilihat bahwa ketebalan lumpur berpengaruh terhadap penyisihan total coliform pada unit SDB. yang ditunjukkan dengan pola yang sama. Semakin tebal lumpur semakin turun efisiensi penyisihan total coliform, hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal lumpur yang dimasukkan ke dalam reaktor, akan menurunkan kinerja reaktor dalam meremoval total coliform.

Dari keenam grafik dapat dikatakan bahwa ketebalan lumpur 20 cm memiliki performa penyisihan beban organik yang lebih besar daripada ketebalan 40 cm. hal ini dapat terjadi karena pada ketebalan lumpur 20 cm, media filter yang digunakan masih dalam kondisi optimum. Sedangkan pada ketebalan 40 cm memungkinkan terjadinya kondisi jenuh pada media filter dikarenakan terlalu banyak volume lumpur yang dimauskan sehingga media filter sudah tidak optimum lagi dalam meremoval beban organik. Hal tersebut mempengaruhi hasil penyisihan beban organik yang keluar pada filtrat, yaitu pada reaktor dengan ketebalan 20 cm memiliki penyisihan lebih besar dibandingkan ketebalan lumpur 40 cm.

4.4 Pengaruh Perbedaan Ukuran Media terhadap penyisihan polutan pada unit SDB

Besarnya pengaruh ukuran media filter dalam menyisihkan polutan pada unit SDB dapat dilihat dari hubungan antar parameter. Terdapat 3 variasi ukuran media filter pasir yang digunakan yaitu variasi 1 memiliki ukuran diameter pasir $0,15- <0,425$ mm, variasi 2 ukuran $0,15-0,85$ mm, dan variasi 3 memiliki ukuran $0,425- <0,85$ mm. Variasi tersebut diurutkan berdasarkan laju filtrasi yang dimiliki oleh pasir yang terstratifikasi. Variasi 1

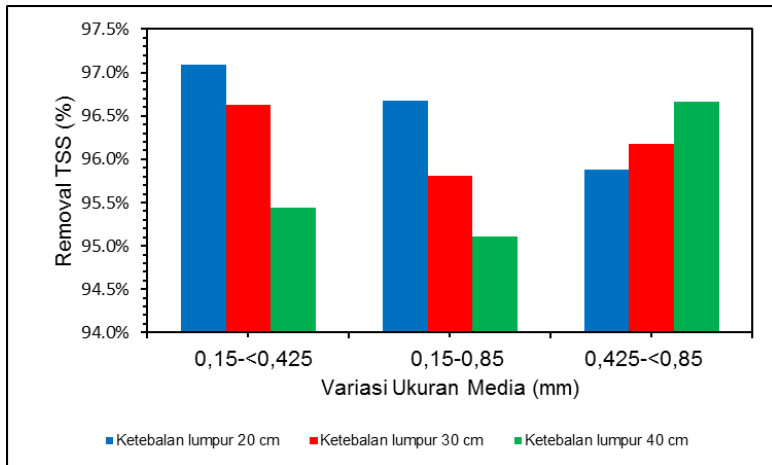
memiliki laju filtrasi paling lambat yaitu 0,080 m/jam, variasi 2 memiliki laju filtrasi 0,085 m/jam, dan variasi 3 memiliki laju filtrasi 0,279 m/jam.



Gambar 4. 32 Pengaruh Ukuran Media terhadap TS

Pada Gambar 4.32 dapat dilihat bahwa perbedaan ukuran media berpengaruh terhadap besarnya removal TS. Pada ukuran media 2 atau 0,425-<0,85 mm memiliki persentase removal paling kecil, hal tersebut terjadi karena ukuran media tersebut merupakan ukuran media dengan diameter yang paling besar. Sehingga kemampuan removalnya lebih kecil dibandingkan ukuran media halus dan campuran.

Pada Gambar 4.33 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan ukuran media tidak berpengaruh dengan besarnya removal pada parameter TSS. Hal tersebut dapat dilihat dengan tidak selarasnya pola yang ada pada Gambar 4.33. Sehingga dapat dikatakan bahwa adanya perbedaan ukuran media tidak berpengaruh dengan besarnya persentase removal pada lumpur IPAL biologis.



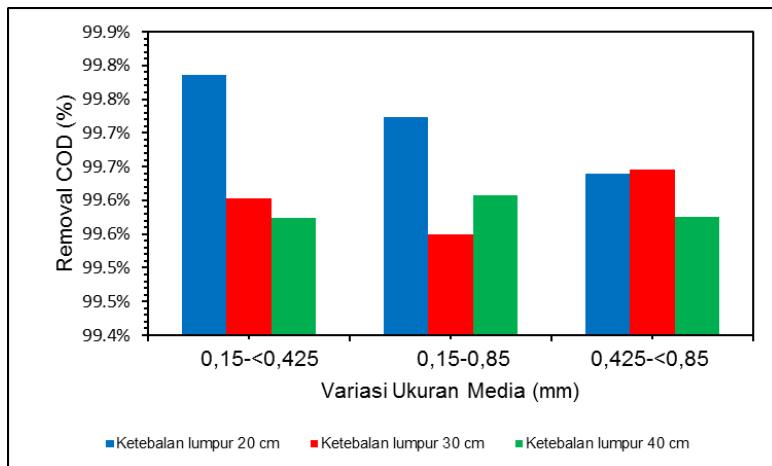
Gambar 4.33 Pengaruh Ukuran Media terhadap TSS

Menurut Droste (1997), Kemampuan penyaringan pasir kuarsa ditentukan oleh tingkat porositas dan luas permukaannya. Tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang lebar akan menghasilkan kemampuan penyaringan yang tinggi pula. Porositas media filter tergantung pada bagaimana susunan butiran-butiran tersebut di dalam lapisan media filter. Sedangkan karakteristik partikel yang berpengaruh pada porositas dan luas permukaan adalah *sphericity* atau tingkat kebulatan dari partikel tersebut. Hal ini juga didukung pernyataan Prihatin (2011), bahwa pada media filter, semakin besar persentase porositas maka semakin besar pula volume pori yang terdapat pada media filter, begitu juga sebaliknya.

Selain itu, ukuran media pun juga berpengaruh pada efisiensi penyisihan TSS yang mana ukuran media pasir (0.212-0.425 mm) adalah yang memiliki efisiensi penyisihan yang paling tinggi. Menurut Wegelin (1996) dalam Fitri, I.T. (2013) penggunaan media filter yang lebih kecil dapat meningkatkan efisiensi penyaringan. Ukuran media filter yang kecil akan menyediakan

total area permukaan lebih besar yang akan meningkatkan efisiensi penyisihan.

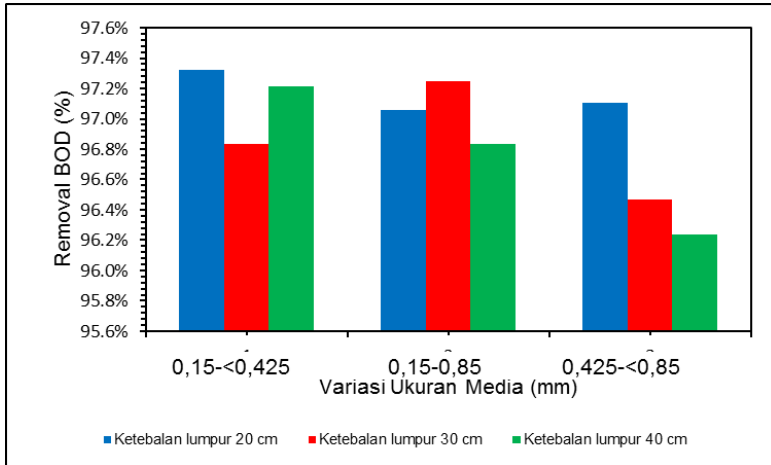
Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nkwonta dan Ochieng (2010) dimana efisiensi tertinggi dicapai pada ukuran media filter halus ($\Phi 12-2$ mm) karena semakin kecil ukuran media filter maka celah diantara media juga akan semakin kecil sehingga area permukaan yang tersedia lebih besar untuk mengadsorpsi partikel padatan sehingga efisiensi penyisihan semakin meningkat. Selain itu menurut Edahwati dan Suprihatin (2010) ukuran media filter berpengaruh pada porositas dan daya serap yang mana semakin kecil ukuran butiran, maka luas permukaannya makin besar juga, sehingga daya serapnya semakin besar.



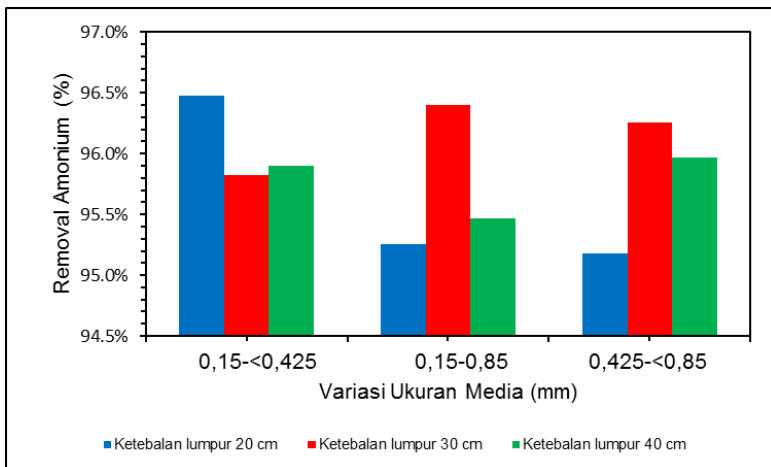
Gambar 4.34 Pengaruh Ukuran Media terhadap COD

Pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 dapat dilihat pengaruh ukuran media terhadap COD dan BOD. Adanya perbedaan ukuran media tidak mempengaruhi konsentrasi BOD dan COD yang keluar melalui filtrat. Akan tetapi, dari pola yang terbentuk, semakin besar ukuran media yang digunakan, maka persentase removal BOD dan COD cenderung semakin turun. Hal

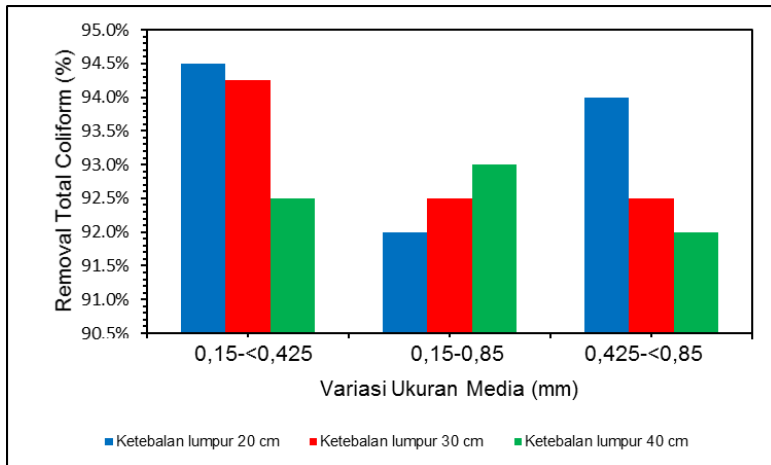
ini karena adanya perbedaan laju filtrasi 3, memiliki laju yang paling tinggi karena memiliki ukuran diameter pasir yang terbesar.



Gambar 4.35 Pengaruh Ukuran Media terhadap BOD



Gambar 4.36 Pengaruh Ukuran Media terhadap Amonium



Gambar 4.37 Pengaruh Ukuran Media terhadap Total Coliform

Pada gambar 4.36 dan 4.37 terlihat pola yang tidak beraturan, sehingga dapat dikatakan bahwa adanya perbedaan ukuran media tidak mempengaruhi konsentrasi amonium dan total coliform yang keluar melalui filtrat.

Dari keseluruhan gambar pengaruh ukuran media dengan parameter dapat dilihat bahwa pada media yang terstratifikasi yaitu media dengan ukuran 0,15-<0,425 mm memiliki persentase removal yang lebih tinggi dibandingkan reaktor dengan ukuran media terstratifikasi 0,425-<0,85 mm. Hal ini dapat terjadi karena reaktor dengan ukuran media 0,15-<0,85 mm memiliki laju filtrasi 0,080 m/jam dan ukuran media yang paling kecil dan laju filtrasi paling lambat, sehingga proses filtrasi dan removal dapat berjalan maksimum. Namun berbeda dengan ukuran media 0,425-<0,85 mm yang memiliki ukuran media paling besar dan laju filtrasi 0,279 m/jam atau laju filtrasi paling besar, memungkinkan proses filtrasi yang terjadi dalam reaktor tidak berjalan maksimal karena bahan organik yang tersuspensi masih bisa melalui media tersebut yang mengakibatkan persentase removal tiap parameter menurun.

Pada media yang campuran atau tidak terstratifikasi memungkinkan terjadinya stratifikasi pada saat proses filtrasi, sehingga partikel yang besar akan tersaring pada ukuran media yang besar, dan partikel yang kecil akan tersaring pada ukuran media yang kecil, sehingga dapat memaksimalkan proses filtrasi. Akan tetapi untuk media yang tidak terstratifikasi dapat mengakibatkan terjadinya penyumbatan lebih cepat dibandingkan media yang terstratifikasi.

Menurut Widyastuti 2011, secara umum kualitas effluent yang dihasilkan akan lebih baik bila lapisan saringan pasir terdiri dari butiran-butiran halus. Jika diameter butiran yang di gunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan. Media pasir dengan ukuran yang kecil (effective size = 0,15 – 0,35 mm), akan memiliki kecepatan filtrasi yang lebih lambat. Kecepatan filtrasi yang relatif lambat akan memungkinkan terjadinya pembentukan lapisan *biofilm* di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera dan larva serangga air. Selama air melewati *schmutzdecke*, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protozoa. Proses yang terjadi dalam *schmutzdecke* sangat kompleks dan bervariasi, tetapi yang utama adalah mechanical straining terhadap kebanyakan bahan tersuspensi dalam lapisan tipis yang berpori-pori sangat kecil, kurang dari satu mikron. Ketebalan lapisan ini meningkat terhadap waktu hingga mencapai sekitar 25 mm, yang menyebabkan aliran mengecil. Ketika kecepatan filtrasi turun sampai tingkat tertentu, filter harus dicuci dengan mengambil lapisan pasir bagian atas setebal sekitar 25 mm. Menurut penelitian Hamimal *et al.* (2013), filter dengan kecepatan lambat mampu menurunkan parameter kekeruhan, total coliform, dan COD.

Selain pengaruh ketebalan lumpur dan ukuran media filter dalam proses pengeringan lumpur IPAL biologis, proses filtrasi dan penguapan merupakan faktor yang penting dalam proses

pengeringan. Proses fisik, kimia, dan biologis pada proses filtrasi dan penguapan merupakan rangkaian proses pengeringan lumpur IPAL biologis. Proses fisik yang terjadi adalah pengendapan, proses pengendapan memiliki 4 tipe yaitu partikel diskrit, flokulan, partikel tertahan, dan kompresi. Pengendapan partikel diskrit terjadi pada air limbah yang memiliki konsentrasi rendah dan partikel mampu mengendap tanpa bereaksi dengan partikel yang lain. Pengendapan flokulan terjadi saat partikel bergabung dengan partikel lain untuk meningkatkan massa dan kecepatan pengendapan. Gaya *Van der Waals* mampu mengikat partikel-partikel kecil menjadi flok besar yang mudah diendapkan. Pengendapan tertahan terjadi pada air limbah yang memiliki konsentrasi tinggi dimana partikel-partikel tersebut membentuk *blanket*. Kompresi terjadi di dasar tangki pengendapan saat *sludge blanket* ditekan oleh padatan dari atas sehingga akan mengeluarkan cairan dari dalam *blanket* (Bassan *et al.*, 2014).

Selain mekanisme fisik, proses kimia dan biologi juga terjadi di dalam proses filtrasi. Proses kimia meliputi proses tarik menarik yang menghasilkan flokulan untuk menyaring wilayah permukaan. Pertumbuhan biologis terjadi di seluruh filter, namun lebih dominan di dekat permukaan, tergantung pada ketersediaan oksigen, sumber karbon, dan unsur hara. Hal ini dapat mengurangi nutrisi dan BOD di dalam saringan (Panuvatvanich *et al.*, 2009).

4.5 Hasil Uji ANOVA pada SPSS 22

Pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 dapat dilihat hasil pengolahan data menggunakan uji statistic ANOVA pada aplikasi SPSS22, pada Tabel 4.15 merupakan hasil uji pengaruh ketebalan lumpur dan pada Tabel 4.16 merupakan hasil uji pengaruh perbedaan ukuran media terhadap penyisihan filtrat.

Tabel 4.15 Hasil Uji ANOVA pengaruh Ketebalan Lumpur

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	220183,315	2	110091,658	,543	,582
	Within Groups	23096156,715	114	202597,866		
	Total	23316340,030	116			
TS	Between Groups	134974333,512	2	67487166,756	4,429	,014
	Within Groups	1736889193,369	114	15235870,117		
	Total	1871863526,881	116			
TSS	Between Groups	3060545,658	2	1530272,829	1,425	,245
	Within Groups	122435518,821	114	1073995,779		
	Total	125496064,479	116			
BOD	Between Groups	418,567	2	209,283	,191	,828
	Within Groups	16477,231	15	1098,482		
	Total	16895,797	17			
AMONIUM	Between Groups	,003	2	,001	,001	,999

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Within Groups	17,314	15	1,154		
	Total	17,317	17			
TC	Between Groups	164444,444	2	82222,22	,262	,773
	Within Groups	4705000,000	15	313666,667		
	Total	4869444,444	17			

Dari keenam parameter hanya parameter TS yang menunjukkan hasil signifikan dibawah 0,05. Sehingga dapat dikatakan bahwa perbedaan ketebalan lumpur hanya mempengaruhi penyisihan parameter TS. Sedangkan pada Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan ukuran media mempengaruhi besarnya penyisihan bahan organik pada parameter COD, TSS, dan TS.

Tabel 4.16 Hasil Uji ANOVA pengaruh Ukuran Media

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	11455489,917	2	5727744,958	55,052	,000
	Within Groups	11860850,113	114	104042,545		
	Total	23316340,030	116			

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TS	Between Groups	836938209,260	2	418469104,630	46,096	,000
	Within Groups	1034925317,621	114	9078292,260		
	Total	1871863526,881	116			
TSS	Between Groups	62379761,299	2	31189880,650	56,335	,000
	Within Groups	63116303,179	114	553651,782		
	Total	125496064,479	116			
BOD	Between Groups	257,540	2	128,770	,116	,891
	Within Groups	16638,257	15	1109,217		
	Total	16895,797	17			
AMONIUM	Between Groups	,913	2	,456	,417	,666
	Within Groups	16,405	15	1,094		
	Total	17,317	17			
TC	Between Groups	361111,111	2	180555,556	,601	,561
	Within Groups	4508333,333	15	300555,556		
	Total	4869444,444	17			

4.6 Kestimbangan Massa COD dan TS

Kestimbangan massa digunakan untuk melacak aliran bahan masuk dan keluar dalam suatu proses dan menghasilkan kuantitas komponen atau proses secara keseluruhan. Massa masuk merupakan massa awal total lumpur yang dimasukkan ke dalam reaktor, massa yang tertahan adalah massa cake yang tertahan di dalam reaktor, dan massa filtrat adalah massa filtrat yang keluar dari *underdrain*. Massa yang hilang menunjukkan bahwa selama proses berlangsung terjadi proses evaporasi pada reaktor. Dapat dilihat pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 hasil kestimbangan massa COD dan TS pada proses pengeringan lumpur.

COD masuk (kg)		Tertahan (kg)		Keluar (kg)
H20 = 0.376		0.3680 (97.88%)		0.0005 (2.69%)
H30 = 0.564		0.5460 (96.80%)		0.0011 (4.04%)
H40 = 0.752		0.7129 (94.80%)		0.0016 (6.73%)
K20 = 0.376		0.3639 (96.77%)		0.0009 (4.04%)
K30 = 0.564	→	0.5403 (95.80%)	→	0.0011 (5.38%)
K40 = 0.752		0.7052 (93.77%)		0.0018 (8.07%)
C20 = 0.376		0.3604 (95.86%)		0.0006 (5.39%)
C30 = 0.564		0.5317 (94.27%)		0.0013 (7.40%)
C40 = 0.752		0.7017 (93.31%)		0.0016 (8.75%)
		↓		
		Loss (kg)		
		H20 = 0.00751 (0.12%)		
		H30 = 0.01689 (0.20%)		
		H40 = 0.03752 (0.21%)		
		K20 = 0.01125 (0.23%)		
		K30 = 0.02251 (0.20%)		
		K40 = 0.04501 (0.24%)		
		C20 = 0.01502 (0.15%)		
		C30 = 0.03095 (0.24%)		
		C40 = 0.04878 (0.21%)		

Gambar 4.38 Mass Balance COD

Dari mass balance tersebut dapat dilihat bahwa massa COD rata-rata 95,47% tertahan pada cake dan sisanya keluar melalui filtrat. Sehingga dapat dikatakan bahwa massa COD sebagian besar terakumulasi pada cake. Adanya loss atau hilangnya massa COD bisa terjadi karena memungkinkan terjadinya degradasi oleh mikroorganisme pada saat kondisi anaerobik sehingga menghasilkan gas metana yang kemudian keluar melalui gas.

TS masuk (kg)		Tertahan (kg)		Keluar (kg)
H20 = 0.2788		0.228 (81.90%)		0.0482 (17.28%)
H30 = 0.4182		0.324 (77.57%)		0.0909 (21.73%)
H40 = 0.5576		0.425 (76.23%)		0.1288 (23.10%)
K20 = 0.2788		0.219 (78.62%)		0.0576 (20.67%)
K30 = 0.4182	→	0.272 (65.15%)	→	0.1433 (34.27%)
K40 = 0.5576		0.349 (62.65%)		0.2053 (36.81%)
C20 = 0.2788		0.216 (77.50%)		0.0610 (21.87%)
C30 = 0.4182		0.312 (74.54%)		0.1039 (24.84%)
C40 = 0.5576		0.413 (74.12%)		0.1409 (25.27%)
		↓		
		Loss (kg)		
		H20 = 0.0023 (0.83%)		
		H30 = 0.0029 (0.70%)		
		H40 = 0.0037 (0.67%)		
		K20 = 0.0020 (0.71%)		
		K30 = 0.0024 (0.58%)		
		K40 = 0.0030 (0.54%)		
		C20 = 0.0017 (0.63%)		
		C30 = 0.0026 (0.62%)		
		C40 = 0.0034 (0.61%)		

Gambar 4.39 Mass Balance TS

Untuk parameter TS, massa juga sebagian besar terakumulasi pada cake rata-rata 74,25%. Adanya loss atau hilangnya massa TS dapat terjadi karena terjadinya evaporasi maupun ada yang tertahan pada media. Dari kedua kesetimbangan massa tersebut, dapat dikatakan bahwa massa TS dan COD pada lumpur IPAL biologis sebagian besar terakumulasi pada cake dan sisanya keluar melalui filtrat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Analisis dan pembahasan pada penelitian pengeringan lumpur IPAL biologis pada unit *sludge drying bed* menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Presentase volume air yang keluar sebesar 55,3% untuk setiap reaktor sedangkan sisanya terlepas melalui proses evaporasi dan tertahan pada *cake*.
2. Penyisihan optimum pada unit SDB sebesar 99,88% untuk COD, 98,37% TS, 98,27% TSS, 97,32% BOD, 96,47% Amonium, dan 94,5% Total Coliform.
3. Susunan ukuran ketebalan lumpur dan ukuran media pasir yang paling efektif dalam proses pengeringan lumpur IPAL biologis adalah reaktor dengan ketebalan lumpur 20 cm dengan media pasir 0,15-<0,425 mm
4. Waktu pengeringan lumpur IPAL biologis yang paling efektif adalah 4-5 hari untuk ketebalan lumpur 20 cm, 7-9 hari untuk ketebalan lumpur 30 cm, dan 9-11 hari untuk ketebalan lumpur 40 cm.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari penelitian ini, perlu adanya saran perkembangan yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya. Saran yang dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan sistem intermitten yang disesuaikan dengan kondisi lapangan sehingga dapat diketahui waktu yang diperlukan untuk pengurusan dan pembersihan media filter.
2. Perlu dilakukan pemilihan tempat yang tepat sebagai lokasi penelitian, yang mempertimbangkan faktor yang mempengaruhi pengeringan lumpur seperti intensitas cahaya, angin, kelembapan, dan penutup yang tidak mengganggu masuknya cahaya matahari.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Nozaily, F.A., Taher, T.M., dan Al-Rawi, M.H.M. 2013. Evaluation Of The Sludge Drying Beds At Sana'a Wastewater Treatment Plant. **Seventeenth International Water Technology Conference, IWTC17**. Turkey
- Anggun, A. M. 2011. Pengolahan Limbah dengan Media Biofilter Pasir. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan Semarang, Semarang.
- Badji K., Dodane P.H., Mbéguéré, M., Koné, D. 2011, Traitement des boues de vidange: éléments affectant la performance des lits de séchage non plantés en taille réelle et les mécanismes de séchage. **Actes du symposium international sur la Gestion des Boues de Vidange**, Dakar, 30 juin – 1er juillet 2009, EAWAG/SANDEC.
- Bagja, A.P. 2014. Literatur Pengelolaan Lumpur (Sludge). <http://andrian-xr.blogspot.com/2014/07/literatur-pengelolaan-lumpur-sludge.html>. Diakses pada tanggal 20 Maret 2018
- Bassan, M., Dodane, P.H., Strande, L. 2014. **Faecal Sludge Management**. London: IWA Publishing.
- Budiati, E. 1989. Operasi Pengurusan Lumpur dan Perencanaan Sludge Drying Bed untuk Instalasi Ngagel II. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Catur. D.S. 1991. Studi Pengeringan Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) dengan menggunakan Ruang Berpembangkit Vorteks. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor.
- Cahyadi, D. 2016. Pemanfaatan Limbah Lumpur (*Sludge*) Wastewater Treatment Plant PT.X Sebagai Bahan Baku Kompos. **JTM** Vol. 05, No. 1, Juni 2016

- Cofie, O. O., Agbottah, S., Strauss, M., Esseku, H., Montangero, A., Awuah, E., Kone, D. 2006. Solid–liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture. **Water Research**, 40(1), 75–82.
- Danish, M., Jing, H., Pin, Z., Ziyang, L., Pansheng, Q. 2016. A new drying kinetic model for sewage sludge drying in presence of CaO and NaClO. **Applied Thermal Engineering**, 106(Supplement C), 141–152.
- Devia, Y.P. 2009. Pengaruh Penambahan Kapur Dan Abu Terbang Dalam Laju Pelepasan Air Dari Lumpur Biologis (Ipal Sier). **Jurnal Rekayasa Sipil**, Volume 3, No.2, ISSN 1978 – 5658
- Dian, G., Herumurti, W. 2016. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya. **Jurnal Teknik ITS** Vol. 5, No. 1, ISSN: 2337-3539
- Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau. 2017. Laporan Hasil Uji filtrat pada SDB bulan November 2017, Surabaya.
- Droste, R. L. 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons ; New York.
- Edhawati, L. dan Suprihatin. 2010. Kombinasi Proses Aerasi, Adsorpsi dan Filtrasi Pada Pengolahan Air Limbah Industri Perikanan. **Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan** Vol 1. No 2 ; Surabaya
- Fakhrana, D., Johnny, M. T. S., Apriani, I. 2017. Efisiensi Media Filter (Zeolit Dan Ijuk) Dalam Mengelola Limbah Tinja (*Black Water*). Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H., Mara, D.D. (1983). Sanitation and Disease. Health aspects of excreta and wastewater management. **World Bank studies in water supply and sanitation**. John Wiley and Sons. New York.
- Fitri, I.T., Samudro, G., Sumiyati, Sri. 2013. Studi Penurunan Parameter TS dan Turbidity Dalam Air Limbah Domestik Artifisial Menggunakan Kombinasi Vertical Roughing Filter

- dan Horizontal Roughing Filter. **Jurnal Teknik Lingkungan** UNDIP. Vol 2.No 2. Halaman 5
- Fitriahsari, B. 2018. "Pengaruh Substitusi Fly Ash dengan Limbah Marmer Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Geopolimer pada NaOH 15M". **Rekayasa Teknik Sipil**, 1(1), 10–15.
- Hamimal, M.R., Fitriani, N., Karnaningroem, N. 2013. Uji Kemampuan Slow Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan, COD, dan Total Coliform. **Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan – FTSP ITS**.
- Hamonangan, S.P., Handayani, N.U., Bakhtiar, A. 2017. Evaluasi Dampak Proses Produksi Dan Pengolahan Limbah Minuman Isotonik Mizone Terhadap Lingkungan Dengan Metode Life Cycle Assessment. Teknik Industri, Universitas Diponegoro, Semarang
- Heinss, U., Larmie, S.A., Strauss, M. (1998). Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics – Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design, **EAWAG/SANDEC, Report No. 05/98**.
- Hu, S., She, X., Wei, X., Hu, B., Hu, C., Qian, Y., Chen, Z. 2017. Surplus sludge treatment in two sludge treatment beds under subtropical condition in China. **Environmental Biotechnologies for Sustainable Development (EBSuD)**, 119(Supplement C), 377–386.
- Hutagalung, W.L.C. 2012. Pengaruh Pengadukan Terhadap Jumlah Fecal Coliform dan Salmonella sp Kompos Lumpur Tinja pada IPLT Kalimuya Depok. Jakarta : Universitas Indonesia
- Julian, D.A., Lindu, M., Winarni. 2015. Studi Pengolahan Lumpur Instalasi Pengolahan Air Minum Taman Kota - Jakarta Barat. **JTL** Vol. 7 No. 2 Desember 2015, 75 - 80

- Kengne, I.M., Dodane, P.-H., Amougou Akoa, Koné, D., 2009. Vertical flow constructed wetlands as sustainable sanitation **Approach for faecal sludge dewatering in developing countries**. *Desalination*, (248) p291-297.
- Koottatep, T., Surinkul, N., Polprasert, C., Kamal A.S.M., Koné, D., Montangero, A., Heinss, U., Strauss, M. 2004. Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate– Lessons learnt after seven years of operation. **Water Science and Technology** 51 (9), p.119-126.
- Kuffour, A. R., Awuah, E., Anyemedu, F. O. K., Strauss, M., Koné, D., Cofie, O. 2009. Effect of using different particle sizes of sand as filter media for dewatering faecal sludge. **Desalination**, 248(1), 308–314.
- Lehr, J.H., Keeley, J. 2005. Domestic, Municipal, And Industrial Water Supply And Waste Disposal. **Water Encyclopedia Published simultaneously in Canada**, Canada
- Lestari, D.R., Yudihanto, G. 2013. Pengolahan Lumpur Tinja Pada Sludge Drying Bed IPLT Keputih Menjadi bahan Bakar Alternatif Dengan Metode Biodrying. **Jurnal Teknik Pomits** Vol. 2, No. 2.
- Magri, M. E., Francisco, J. G. Z., Sezerino, P. H., Philippi, L. S. 2016. Constructed wetlands for sludge dewatering with high solids loading rate and effluent recirculation: Characteristics of effluent produced and accumulated sludge. **Ecological Engineering**, 95(Supplement C), 316–323.
- Mahath, C.S. Effective Disposal of Sewage Sludge by Composting Method. **Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)**, Vol-2, Issue-6, 2016 ISSN: 2454-1362,
- Marbun, J., Bagyo, I. 2006. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Merauke. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Maryani, D., Masduqi, A., Moesriati, A. 2014. Pengaruh Ketebalan Media dan Rate filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform. **Jurnal Teknik Pomits** Vol. 3, No. 2, ISSN: 2337-3539
- Metcalf dan Eddy. 2003. Wastewater Engineering Collection and Pumping of Wastewater, 3rd Edition. New York: McGraw Hill.
- Nielsen, S. 2003. Sludge drying reed beds. **Water Science and Technology** 48(5), p.101-109.
- Musy, A., Higy, C. (2004). Hydrologie, une science de la nature. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Switzerland.
- Nkwonta, O., Ochieng, G. 2009. Roughing Filter For Water Pre Treatment Technology In Developing Countries. International Journal Of The Physical Sciences. Vol 4. No 9. ISSN 1992-1950 Academic Journals ; South Africa.
- Oktarina, D., Haki, H. Desember 2013. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus : IPLT Sukawiatan), **Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan** 1 (1): 74-79.
- Panuvatvanich, A., Koottatep, T., Kone, D. 2009. "Influence of Sand Layer Depth and Percolate Impounding Regime on Nitrogen Transformation in Vertical-Flow Constructed Wetlands Treating Faecal Sludge". **Water Research**, 43(10), 2623–2630.
- Pertiwi, D., Wibowo, B., Kasiati, E., Triaswati, Sabban, A. . 2011. "Perbandingan Penggunaan Pasir Lumajang dengan Pasir Gunung Merapi terhadap Kuat Tekan Beton". **Jurnal APLIKASI**, 9(2).
- Pileggi, V., Budziakowski, J., Manoharan, M., Naguleswaran, S., Shen, Y. 2012. Design Guidelines For Sewage Works. **Ministry of the Environment** ISBN 978-1-4249-8438-1 PIBS 6879

- Prihatin, Tri, Joko. 2011. Pembuatan Filter Keramik Berbahan Dasar Tanah Liat Sebagai Kandidat Pengolahan Limbah Radioaktif Cair. Prosiding Seminar Nasional ISSN: 0854-2910. Yogyakarta.
- Putri, N.C. 2011. Kajian Implementasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Indonesia. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Putri, A. R., Samudro, G., Handayani, D. S. 2012. Penentuan Rasio BOD/COD Optimal pada Reaktor Aerob, Fakultatif, dan Anaerob. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Qasim, S.R. 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation. New York: CBS Collage Publishing. Rizzardini, C.B. and Goi, D. 2014. Sustainability of Domestic Sewage Sludge Disposal. **Sustainability** 2014, 6, 2424-2434; doi:10.3390/su6052424
- Rumbaugh, E. 2015. Sludge Volume Index (SVI). Biological Waste Treatment Expert. <http://www.biologicalwasteexpert.com/blog/what-is-my-ideal-sludge-volume-index-svi-number> diakses pada tanggal 08 Januari 2018
- Said, N.I. dan Utomo, K. 2007. Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Lumpur Aktif yang Diisi dengan Media Bioball. **JAI** Vol. 3, No. 2 2007
- Sarah,M. 2005. Proses Reduksi Ekses Lumpur Aktif dari Ipal Industri Pembuatan Kertas. **Jurnal Sistem Teknik Industri** Volume 6, No. 3 Juli 2005
- Selintung, M., Lopa, R.T., Zubair, A., Bakri, B., Ibrahim, R. 2016. Pengolahan Lumpur. Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum. Teknik Lingkungan, Universitas Hasanudin, Makassar

- Soeprijanto, Tontowi, I., Dyah, F., dan Beauty S.D., Dewanti. 2010. Pengolahan Tersier Air Limbah Industri Menggunakan Metode Saringan Pasir Lambat. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Soetopo, R.S., Purwanti, S., Setiawan, Y., Adhytia, K.W. 2011. Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik Dua Tahap Pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas. **Jurnal Riset Industri** Vol. V, No.2, 2011, Hal 131-142
- Strande, L., Ronteltap, M., Brdjanovic, D. 2014. Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation. **IWA Publishing** in London, UK
- Sukawati, S.T. 2008. Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Laundry Menggunakan Reaktor Biosand Filter dan Activated Carbon. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta.
- Sunarti, T.C., Suprihatin, Lauda, R.D. 2014. Stabilisasi Sludge Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Menggunakan Starter Bakteri Indigenous Pada Aerobic Sludge Digester. **E-Jurnal Agroindustri Indonesia** Desember 2014, Vol. 3 No. 1, p ISSN: 2252 - 3324
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Zurbrügg, C. (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Dübendorf: **Swiss Federal Institute of Aquatic Science & Technology (EAWAG)** 2nd revised edition.
- Uggetti, E., Argilaga, A., Ferrer, I., García, J. 2012. Dewatering model for optimal operation of sludge treatment wetlands. **Water Research**, 46(2), 335–344.
- Uggetti, E., Llorens, E., Pedescoll, A., Ferrer, I., Castellnou, R., García, J. 2009. Sludge dewatering and stabilization in drying reed beds: Characterization of three full-scale systems in Catalonia, Spain. **Bioresource Technology**, 100(17), 3882–3890.

- Widyastuti, S dan Sari, A.S. 2011. Kinerja Pengolahan Air Bersih dengan Proses Filtrasi dalam Mereduksi Kesadahan. **Jurnal Teknik WAKTU** Volume 09 Nomor 01 ISSN : 1412-1867
- Zhang, Y., Yin, X., He, Z., Zhang, X., Wen, Y., Wang, H. 2015. Modeling the Activated Sludge—Thickening Process in Secondary Settlers. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 2015, 12, 15449-15458; doi:10.3390/ijerph121214996

LAMPIRAN 1

PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN PROSEDUR ANALISIS

A. Analisis Amonium

1. Pembuatan Reagen

a. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

b. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

c. Larutan Standar Amonium (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

a. Penentuan Panjang Gelombang analisis Amonium

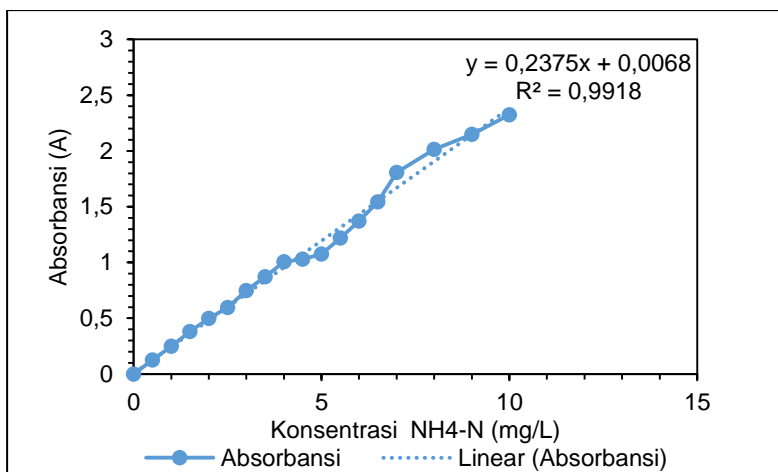
Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
388	0.443
389	0.450
390	0.456
391	0.458
392	0.454

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
393	0.445
394	0.442
395	0.441

b. Kurva Kalibrasi Analisis Amonium

Digunakan panjang gelombang 391 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0.5	0.125
1	0.249
1.5	0.382
2	0.497
2.5	0.595
3	0.747
3.5	0.872
4	1.007
4.5	1.029
5	1.074
5.5	1.218
6	1.37
6.5	1.543
7	1.808
8	2.015
9	2.149
10	2.325



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar amoniumnya.
- Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 1 mL larutan nessler
- Ditambahkan 1,25 mL larutan garam signet
- Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer
- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel.

B. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N

Timbang dengan teliti 4,9036 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.

b. Larutan Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N

Timbang dengan teliti 39,2 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

c. Larutan Campuran Asam (Ag_2SO_4)

Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 ke dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna.

d. Larutan Indikator Ferroin

Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

2. Prosedur Analisis

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetrik berdasarkan (Greenberg *et al.*, 2005), seperti berikut:

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
- Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- Disiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.
- Larutan Kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
- Larutan campuran asam (Ag_2SO_4) ditambahkan sebanyak 3,5 mL.
- Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.

- Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan standard FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol.sampel}} \times p$$

dengan:

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

C. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan Buffer Fospat

Campur dan larutkan KH_2PO_4 0,85 gram, K_2HPO_4 0,2175 gram, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,334 gram dan NH_4Cl 0,17 gram ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

b. Larutan MgSO_4

Larutkan 0,225 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

c. Larutan CaCl_2

Larutkan 0,275 gram CaCl_2 ke dalam 100mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

d. Larutan FeCl_3

Larutkan 0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL. Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan Buffer Fospat, MgSO_4 , larutan CaCl_2 , larutan FeCl_3 dan larutan bakteri. Larutan

bakteri dapat dibuat dengan mengaerasi 1 spatula (10 gram) tanah subur ke dalam air selama 2 jam.

e. Larutan $MnCl_2$ 20%

Larutkan 20 gram $MnCl_2$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

f. Larutan Pereaksi Oksigen

Campur dan larutkan 40 gram NaOH, 15 gram KI dan 2 gram NaN_3 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

g. Larutan Indikator Amilum 1%

Larutkan 1 gram amilum dengan 100 mL aquades yang sudah dididihkandi dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit HgI_2 sebagai pengawet.

h. Larutan Thiosulfat 0,01 N

Larutkan 24,82 gram $Na_2S_2O_3$ ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. Kemudian ditambahkan dengan 1 gram NaOH sebagai buffer.

i. H_2SO_4 pekat

2. Prosedur Analisis

Metode analisis BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winkler metode titimetrik berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

- Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka $KMNO_4$:

$$P = \frac{\text{Angka } KMNO_4}{3 \text{ atau } 5 \text{ (tergantung dari pH sampel)}}$$

- Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.

- Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- Tuangkan air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan MnCl_2 .
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama ± 10 menit.
 - Tambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat, tutup dan kocok kembali.
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL
 - Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
 - Titrasi dengan larutan Natrium Thiosulfat 0.0125 N sampai warna biru hilang.
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
- Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$\text{OT (mg O}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$\text{BOD}_{5^{20}} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Dimana:

X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$

X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$

B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t = 0$

B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t = 5$

P = derajat pengenceran

a = volume titran (mL)

N = Normalitas Natrium Thiosulfat

D. Analisis TSS (*Total Suspended Solids*)

Teknik analisis TSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri dari metode analisis TSS pada Greenberg *et al.* (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai b (mg).
- Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada vacuum filter.
- Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicatat volume sampel yang disaring sebagai c (mL).
- Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4.

- Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Cawan yang berisi kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg).
- Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{d(a+b)}{c} \times 1000 \times 1000$$

E. Analisis TS (*Total Solids*)

Teknik analisis TS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri dari metode analisis TSS pada Greenberg *et al.* (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Cawan kosong ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg).
- Sampel dituang ke dalam cawan porselin yang telah ditimbang. Dicatat volume sampel sebagai c (mL).
- Cawan yang berisi sampel dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam.
- Cawan dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan ditimbang menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai b (mg).
- Dilakukan perhitungan jumlah zat padat (TS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TS (mg/L)} = \frac{(a-b)}{c} \times 1000 \times 1000$$

F. Analisis Kadar Air

Teknik analisis Kadar Air dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri dari metode analisis TSS pada Greenberg *et al.* (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Cawan kosong ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg).
- Sampel dimasukkan kedalam cawan porselin yang telah ditimbang. Dicatat berat basah yaitu berat cawan berisi sampel sebagai b (mg).
- Cawan yang berisi sampel dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam.
- Cawan dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan berisi sampel kering ditimbang menggunakan neraca analitik sebagai berat kering. Hasil penimbangan dicatat sebagai c (mg).
- Dilakukan perhitungan kadar air dalam sampel dengan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(b-a)-(c-a)}{(b-a)} \times 100\%$$

G. Analisis Total Coliform

1. Pembuatan Media Tanam

- Menimbang media *Lactose Broth* (LB) sebanyak 13 gram kemudian dilarutkan menggunakan larutan NaCl 0,8% sampai 1 L.
- Kemudian memasukkan media yang sudah larut ke dalam tabung reaksi sebanyak 10 mL.
- Selanjutnya memasukkan tabung Durham ke dalam tabung dan ditutup kapas lemak.

- Tabung kemudian di autoclaf selama 2 jam dengan suhu 121 °C.
- Kemudian didinginkan.

2. Prosedur Analisis

Metode analisis Total Coliform dilakukan dengan menggunakan prinsip MPN berdasarkan *SN/ 01-2332.1-2006*, seperti berikut:

1. Mengencerkan sampel menggunakan larutan NaCl 0,8% sampai batas yang ditentukan.
2. Diambil 10 mL sampel dan dimasukkan ke dalam 5 tabung reaksi yang berisi media, 1 mL sampel dan dimasukkan ke dalam 5 tabung reaksi yang berisi media, dan 0,1 mL sampel kemudian dimasukkan ke dalam 5 tabung reaksi yang berisi media.
3. Kemudian dimasukkan ke inkubator selama 24 jam dengan suhu ± 35 °C.
4. Selanjutnya diamati terbentuknya gelembung di dalam tabung, jika terbentuk menunjukkan bahwa sampel mengandung total coliform.

Dicatat jumlah tabung yang mengandung colifom, selanjutnya dicocokkan dengan tabel MPN untuk mendapatkan konsentrasi bakteri Coliform.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI PENELITIAN



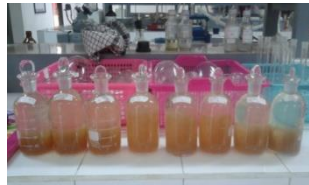
Analisis COD



Analisis TSS



Analisis Amonium



Analisis BOD



Pengambilan Sampel



Analisis TS dan Kadar Air



Reaktor tampak samping



Reaktor tampak depan



Pengukuran suhu lumpur



Pengukuran suhu ambient



Analisis Total Coliform

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada 26 Maret 1996 di Lamongan. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2002-2008 di SDN Made IV Lamongan. Setelah itu, dilanjutkan di SMP Bina Bangsa Surabaya pada tahun 2008-2011 dan SMAN 15 Surabaya pada tahun 2011-2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan ITS Surabaya pada tahun 2014-2018 yang terdaftar dengan NRP 03211440000022. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Kesejahteraan Mahasiswa HMTL periode 2015/2016 dan menjadi Kepala Bidang Finansial Akademik HMTL periode 2016/2017. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum di beberapa mata kuliah. Penulis dapat dihubungi via email mfaizatulummah@gmail.com.